Norsk Geologisk Tidsskrift

UTGITT AV

NORSK GEOLOGISK FORENING

MED STATSBIDRAG
SAMT MED BIDRAG FRA NANSENFONDET
OG SULITELMAFONDET

BIND 19 – 20
ÅRGANG 1939

OSLO 1940
A. W. BRØGGERS BOKTRYKKERI A/s

Digitized by the Internet Archive
in 2023

https://archive.org/details/norwegian-journal-of-geology_1939_19

INNHOLD

N = notis. L = literaturmelding og kritikk.
F = foredrag (ikke referert). F R = foredrag, referert.
O = ordskifte etter foredrag.

Side
Barth, Tom F. W.: Norske mineral av beidellit-gruppen, 5 fig. .... 300—310
Bjøblykke, K. O.: Bergmester Thomas Georg Münster. Minnetale 297—299, 346
Bjørums legat, grosserer, cand. jur. Halvdan. N .... 344—345
Broch, O. A.: Bidrag til Skudesnessedimentenes geologi. F 355
Brouwer, H. A.: Bau und Entwicklung der Inselguirlanden in Südost Asien. F R .... 353—355
Bugge, C.: Statsgeolog Alvar Högbom. Minnetale .... 352—353
Carstens, C. W.: Om titanholdige jernmalmer. F R: Zur chemisch-mineralogischen Zusammensetzung der titanhaltigen Eisenerzvorkommen, 2 fig. .... 348—352
Foslie, Steinar: Skorovass kisfelt i Grong. F R .... 115—116
Fritsch, Volker: Funkgeologie. F R .... 347—348
Fægri, Knut: Trekk av den senkvartære utvikling på Jæren. F....... 355
Goldschmidt, V. M.: Spektralanalysens bruk i mineralogi, geokjemi og metallurgi. F.. 347
Heintz, A.: Bemerkninger om tektonikk og stratigrafi i kambro-silurstrøkene i Hedenstad. F 347
— En levende kvastfinnet fisk, 1 fig. F R........................ 346—347
Holtedahl, Olaf: Correlation notes on Scottish-Norwegian caledonian geology, 4 fig. .... 326—339
Högbom, Alvar. Minnetale av C. Bugge .... 352—353
Høeg, Ove Arbo: Fra en Spitsbergenekspedisjon i 1939. F 355
Isachsen, F.: Bidrag til Skudesnessedimentenes geologi. F........... 355
Jensen, Einar: Sølvet på Kongsberg. Om de kjemiske prosesser ved deres utfelling og om trådsølvdannelsen, 11 fig. Engl. sum. .... 1—106
Kraus, O.: Note on the wöhlerite group 311
Münster, Thomas Georg. Minnetale av K. O. Bjørlykke .... 297—299
Neumann. Henrich: Armenite, a new mineral. Preliminary note .... 312—313
Norsk geologisk forening .... 112—116, 346—359
— Medlemsliste .... 356—359
— Regnskap .... 113—114
— Reuschmedaljen 114
— Styre 114
— Årsmelding .... 112—113
Notiser .... 107—111, 340—345

Side
Oftedal, Ivar: Beryllium in radioactive minerals. N .... 341—342
— On the occurrence of tin in Norwegian minerals .... 314—325
— Vanadium in dem Apatitvorkommen von Ødegården in Bamble. N 340—341
Rosenquist, Ivan Th.: Note on leaching of granite with special reference to lead, radium and barium. N .... 110—111
Skappel, Vilhelm: Luftfotogrammetrien og den geologiske kartlegging, 1 fig. N .... 107—109
Strand, Trygve: Bidrag til Skudesnessedimentenes geologi. F 355
— Kort meddelelse om kambro-siluren i kartområdet Kongsberg. F 347
— Milesteiner av silurkalk, 1 fig. N .... 342—344
Størmer, Leif: Studies on tribolite morphology. Part I. The thoracic appendages and their phylogenetic significance, 35 fig., 12 t. .... 143—273
Whittard, W. F.: The silurian illaenids of the Oslo region, 4 t. ...... 275—295
Øpik, A.: Brachiopoden und Ostrakoden aus dem Expansusschiefer Norwegens, 3 fig., 6 t. .... 117—142

SØLVET PÅ KONGSBERG

OM DE KJEMISKE PROSESSER VED DETS UTFELLING OG OM TRÅDSØLVDANNELSEN

AV

EINAR JENSEN

MED 11 TEKSTFIGURER

Side
Innledning 2
De sølvavsettende opløsningers sammensetning og temperatur 6
Sølvets utfelling på gangene 15
1. Sølvopløsningers reaksjon med mineraler 16
Sølvopløsningers reaksjon med kiser 17
A. Rene sølvopløsningers reaksjon med rene kiser 17
Fellingen som sulfid 24
Fellingen som metallisk sølv 27
Sølvfellingens avhengighet av fellingstiden 31
Sølvfellingens avhengighet av opløsningenes konsentrasjon 37
B. Rene kisers reaksjon med sølvopløsninger som er tilsatt et annet tungt metall 41
Sølvopløsningers reaksjon med oksyder 43
Sølvopløsningers reaksjon med silikater 44
Ekstraksjon av kisenes svovelinnhold 46
Konklusjon 52
2. Sølvfelling ved elektrolyse 54
3. Sølvfelling ved blanding av sølvopløsningen med en annen opløsning . 59
4. Sølvfelling av en opløsning som ikke reagerer med noget annet 62
Trådsølv 69
English summary 94
Litteraturliste 100

Geologen ved Kongsberg sølvverk statsgeolog Arne Bugge henvendte sig for nogen år siden til professor Ellen Gleditsch for å bringe på det rene om det ved Universitetets kjemiske institutt var nogen kjemiker som var villig til å utføre analyser og annet arbeide av interesse for undersøkelsen av Kongsbergforekomsten. Denne henvendelse resulterte i at jeg som student gjorde nogen analyser av prøver av sølvmalmen; disse analyser er offentliggjort annetsteds (64).[1] Senere har jeg som assistent ved instituttet gjort de forsøk som det følgende arbeide omhandler.

---

[1] Se litteraturlisten.

Jeg må herved få bringe professor Ellen Gleditsch min hjerteligste takk for den store interesse og velvilje hun har vist mitt arbeide; hun har latt mig få frie hender til å benytte instituttets hjelpemidler, og har gitt mig mange verdifulle råd.

Likeledes takker jeg statsgeolog Arne Bugge og sølvverkets hyttemester bergingeniør Ragnvald Støren for den beredvillige elskverdighet hvormed de begge har latt mig nyte godt av sitt store kjennskap til sølvforekomsten ved å gi mig mange verdifulle oplysninger, og ved den interesse de alltid har vist arbeidet.

Stud. mag. sc. Sigrid Bjelke, stud. mag. sc. Katharina Lenschow og stud. mag. sc. Anna Magdalene Sommerfeldt har til tider bistått mig ved utførelsen av forsøkene, og jeg takker dem for den interesse og omhu de har lagt i arbeidet.

Jeg har til forsøkene fått bidrag av Nansenfondet, Universitetets jubileumsfond og Handelsdepartementets industrikontor, hvorfor jeg takker disse institusjoner.

Innledning.

Man kjenner nu meget vel de geologiske trekk ved sølvforekomsten på Kongsberg, for en vesentlig del takket være de inngående undersøkelser som i løpet av de siste årtier er foretatt av C. Bugge og A. Bugge. Jeg skal ikke komme inn på dette her; litteraturen om forekomsten er meget omfattende, og da nærværende arbeide ikke bringer noget nytt i denne henseende vil jeg nøie mig med å henvise til den nyere litteratur på området, av C. Bugge (24, 25), A. Bugge (17, 18, 19, 20, 21, 22, 23), A. Holter (60, 61), C. A. Münster (81, 82), R. Støren (116, 117, 118, 119, 120) og J. H. L. Vogt (9, 133) hvor man vil finne det meste av det man vet om forekomsten og dens mineraler[1], og også henvisninger til den eldre litteratur. Særlig i A. Bugges siste arbeider vil man finne en inngående beskrivelse av de sprekkesystemer som har været tilførselskanaler for de sølvavsettende opløsninger og på hvilke sølvet er utfelt, og av de kisstriper som finnes i fahlbåndene og som synes å ha været bestemmende for sølvets felling efter den såkalte kryssregel.

Betydelig mindre er det kjennskap man har til de kjemiske og fysiske prosesser som har betinget sølvets avsetning på de nu sølvførende ganger. I tidens løp har så vel norske som utenlandske geologer utført nogen undersøkelser herover; men forholdene har i naturen åpenbart været meget kompliserte, og de foreliggende undersøkelser behandler problemene på en nokså tilfeldig måte. Jeg fant at det derfor kunde være av interesse igjen å ta hele problemet om sølvfellingen op til diskusjon, og da fremfor alt ved eksperimenter søke å skaffe sikrere holdepunkter enn dem man hittil har hatt.

---

[1] En oversikt over det metalliske sølvs krystallografi finnes i C. Hintzes håndbok (58).

Det er vanskelig ad teoretisk vei å forutsi noget sikkert om forløpet av de reaksjoner som kan ha spillet en rolle. Forekomsten er jo sannsynligvis hydrotermal, og det dreier sig derfor vesentlig om meget tungtopløselige stoffers reaksjoner med (tynne?) metallsaltopløsninger. Man kjenner lite til hvorledes tungtopløselige stoffers opløselighetsforhold ved høiere temperaturer — over 100° — forandres ved tilsetning av alle mulige opløselige salter til opløsningen — ikke minst ved kompleksdannelser, og man vet også bare lite om alle de elektriske polarisasjoner og passiveringer som kan optre, og som her kan ha spillet en viss rolle. Uten å gå noget større inn på teorien for de reaksjoner jeg omtaler har jeg ved enkle forsøk prøvet å vise hvilke av de overordentlig mange tenkelige reaksjoner det er som må ha været kvalitativt viktige. Som en ren orientering kan dette kanskje tjene til at man kan finne frem til de fenomener som har været de avgjørende for sølvforekomstens dannelse.

Også den omstendighet at forekomsten i enkelte henseender er lite undersøkt gjør verdien av en i og for sig interessant kjemisk undersøkelse temmelig tvilsom for opklaringen av forekomstens dannelse. Forsøksresultatene lar sig allikevel bare rent kvalitativt overføre på forholdene i naturen. Som et viktig eksempel på hvad jeg her mener kan jeg nevne følgende:

Den geometriske (krystallografiske) form som det metalliske sølv har antatt i naturen er naturligvis en funksjon av dets dannelseshistorie, og man kunde derfor omvendt håpe av det naturlige sølvs krystallografi å kunne trekke slutninger om hvilke prosesser det er som har bevirket dets avsetning. Dette strander — iallfall foreløpig — på at den sammenheng man har her er av en såre innviklet natur, således at man ennu er meget langt fra å ha utredet disse problemer eksperimentelt, ennsi teoretisk. De foreliggende undersøkelser viser at sølvets krystallhabitus er i høieste grad avhengig av de sølvavsettende opløsningers sammensetning (konsentrasjon av de forskjellige ioner, deriblandt vannstoffioner) og av sølvkrystallenes veksthastighet. Den teori for metallkrystallers vekst som er utarbeidet av Kossel-Volmer-Stranski, støttet av eksperimenter av M. Straumanis, kan bare forutsi hvilken form sølvkrystaller kan få under betingelser som er meget nær en likevektstilstand; det vil si ved uhyre langsom vekst av fortynnet sølvdamp eller ved elektrolyse ved meget små strømstyrker. Et viktig bidrag er her levert av T. Erdey-Grúz (38) som undersøkte de betingelser under hvilke kuleformede krystaller av sølv vokser regelmessig videre ved elektrolytisk påfelling av sølv i vandig opløsning. Enkle sølvsalter viste sig lite egnet, bedre gikk det i opløsninger av komplekssalter ved strømtettheter på 10^{-4}—10^{-5} ampère pr. cm^2. Stoffene i opløsningen bestemmer entydig, uavhengig av konsentrasjon og strømtetthet, hvilke flater det er som skal optre. Av f. eks. opløsninger av nitratet, perkloratet eller fluoridet utskilles sølv bare på enkelte aktive steder på kulen. Dette tilskrev han dels eksistensen av submikroskopiske kanter og hjørner, dels også passiveringer. Betingelsen for regelmessig vekst er jo at sølvet utskilles mest langs flatene og minst langs kanter og hjørner. Man kan opnå at dette skjer ved å anvende komplekser, hvor hjørner og kanter vil blokeres på grunn av adsorbsjon og derved miste sin spissvirkning. Det viste sig da også at der fremkom en penere, jevnere vekst ved anvendelse av ammoniumklorid eller magnesiumklorid som kompleksdannere, men også ved anvendelse av stoffer hvor sølv forekommer som anion. Dette siste viser at primærprosessen i de forskjellige tilfelle må være forskjellig og at adsorbsjonen må være den mest bestemmende faktor.

En undersøkelse av R. Glocker og E. Kaupp (44) viser at ved elektrolyse av sølv av sølvnitrat på en platinakatode fåes ved en strømtetthet på 0,010 ampère pr. cm^2 grovkrystallinsk sølv med svak fiberstruktur: krystallitene er ordnet med retningene [111] og [001] loddrett på katodens plan. Ved 0,028 amp. pr. cm^2 er fiberstrukturen fullstendig forsvunnet. Også V. Kohlschütter og A. Torricelli (70) har undersøkt dannelse og vekst av sølvkrystaller ved elektrolyse.

Da man, som jeg senere skal omtale, bare vet lite om sammensetningen av de opløsninger som har avsatt sølvet i naturen, resp. om størrelsen av de spenninger og strømstyrker som kan ha optrådt, synes det mig efter disse undersøkelser for tiden temmelig fåfengt å forsøke å gi en mere detaljert forklaring på dannelsen av de overordentlig tallrike former det metalliske sølv optrer under — dog med undtakelse av det såkalte trådsølv, som tydelig er dannet på en helt annen måte enn de andre former. — Man må også være klar over at forholdene ikke er de samme overalt på Kongsberg, men har variert fra gang til gang. Således foreligger der sølvsulfosalter på mange av gangene, på andre er der koboltnikkelarsenider — muligens på spesielle gangtyper.

Forholdene veksler ikke bare fra gang til gang, men har også variert innen hver enkelt gang i løpet av den tid dens fylling har tatt. Det viser sig ved en meget regelmessig sonaropbygning av gangene. Man kan, bortsett fra enkelte sjeldne tilfelle, ikke her se at det dreier sig om flere på hinannen følgende opsprekninger av samme gangspalte.

De kjemiske forhold har ikke alene været bestemmende for hvor på Kongsberg sølvfellingen har funnet sted. Like viktig har feltets mekaniske egenskaper været, især har de forskjellige bergarters mulighet for opsprekning spillet en stor rolle. Det fremgår av eksistensen av de av A. Bugge beskrevne sprekkesystemer.

Da det er så mange slike detaljtrekk ved forekomsten som er lite kjent, skal jeg i det følgende bare i grove trekk antyde hvilke betingelser det er som kan ha gitt anledning til felling av det metalliske sølv, og hvilke det er som kan ha gitt sølvsulfid. På Kongsberg finnes mange andre sølvmineraler, således, som nevnt, sulfosalter, som på nogen steder kan være kvantitativt viktige. Jeg vil ikke komme inn på disses dannelse her; hele dette viktige område er tidligere bare rent antydningsvis undersøkt.

For at det eksperimentelle arbeide overhodet skal kunne si noget om det som har foregått i naturen, bør forsøksbetingelsene efterlikne forholdene i naturen mest mulig. Derfor er det viktig å få et begrep om hvorledes disse har været under selve sølvavsetningen. På den annen side må forsøkene til å begynne med gjøres enkle, forat det skal være mulig overhodet å tolke resultatene på en fornuftig måte.

Det er et overordentlig stort arbeide som må utføres før man kan få et nogenlunde klart begrep om hvad det er som har foregått. Hertil kommer at svært mange prosesser som meget vel kan ha spillet en rolle i naturen bare vanskelig kan undersøkes eksperimentelt, fordi naturen kan arbeide med tynnere opløsninger enn vi er i stand til, og i en ganske annen grad kan ta tiden til hjelp. Som eksempel kan jeg nevne vanskeligheten med å holde sølv i nøitral eller alkalisk opløsning sammen med elementer som kvikksølv, arsen, antimon eller svovel i sådanne konsentrasjoner at brukbare kvantitative forsøk kan anstilles.

Det billede man kan danne sig av forholdene under sølvavsetningen må bli usikkert. Til en sådan rekonstruksjon kan man bare bygge på mer eller mindre usikre analogier, hvorfor den nødvendigvis må bli av en noget hypotetisk karakter. De viktigste faktorer det gjelder å skaffe sig rede på er de sølvavsettende opløsningers sammensetning og temperatur. Trykket har vel på dette dyp (nogen få tusen meter) neppe været så stort at det har hatt nogen *vesentlig* innflytelse på de reaksjoner som har foregått.

De sølvavsettende opløsningers sammensetning og temperatur.

Rent kvalitativt kan man trekke en del slutninger om de sølvavsettende opløsningers sammensetning av sølvmineralenes og gangmineralenes sammensetning, og av at disse siste må ha været helt uangripelige av (uopløselige i) den opløsning som har avsatt dem. Av de mange gangmineraler som finnes, foreligger følgende i større mengder og er samtidige med sølvet (C. Bugge (24), J. H. L. Vogt (133)): en del kvarts, anthracitt, kalkspat, flusspat, en del kiser. En oversikt over de hittil utførte analyser av sølvmineralene finnes i R. Størens arbeide (120).

Nærvær av kalkspat viser at opløsningene har holdt karbonationer og kalciumioner. Derimot er det ikke noget bevis for at opløsningene har holdt fri kulsyre, hvilket synes ofte å ha været antatt. Avsetningen av de forskjellige former av kalciumkarbonat under alle tenkelige betingelser på jordens overflate er jo meget grundig undersøkt, men man vet faktisk intet om de betingelser som medfører dets hydrotermale avsetning som kalkspat på noget dyp (92, 93). Opløsningene kan iallfall ikke ha holdt nogen fri syre som er sterkere enn kulsyre. Kalkspat meddeler rent vann en pH på 9,0, ifølge R. E. Stevens (113), mens kalciumbikarbonatopløsninger kan være svakt sure. — Jeg har gjort kvalitative analyser av en rekke prøver av kalkspat fra forskjellige ganger. Jerninnholdet var alltid meget lavt, ofte var prøvene jernfri. Derimot var det et påfallende regelmessig innhold av manganokarbonat; jeg har funnet mengder derav fra 0,42 til 1,15 % selv i fullstendig klare og farveløse spaltestykker.[1] Ifølge

---

[1] Det lille manganinnhold som E. Gleditsch fant i finsølv fra Kongsberg syntes lenge å være uforklarlig, da sølvmalmen ikke holder mangan, eller, ifølge spektrografiske analyser, bare i mengder på 0,0005 %. Manganmineraler finnes ikke på sølvgangene, og manganpåvisningen skriver sig fra tiden før sølvverket begynte å bruke manganstål i pukkverkets knusemaskiner. Det kan være kalkspaten som er mangankilden. — Forklaringen på at manganet ikke inngår i sølvet selv er neppe at det ikke løses heri (M. Keinert (67)).

F. Hermann (57) og G. H. Charlewood (27) er det meget almindelig at ertsgangers kalkspat holder adskillig mangan. Ifølge den første skal det også være funnet optil 1 mg mangan pr. liter i juvenile kilder.

Rester av de mineralavsettende opløsninger kan leilighetsvis bevares gjennem tidene okkludert i de forskjelligste mineraler. W. H. Newhouse (85) analyserte nogen sådanne, synlige inneslutninger, og fant at det almindeligste var kalcium, natrium, klorid og sulfat. Ofte var opløsningene så konsentrerte at det var utskilt, i mikroskopet synlige, terninger som må være natriumklorid. — Selv om okklusjoner ikke er synlige, kunde de tenkes å foreligge i submikroskopisk fin fordeling i f. eks. kalkspat. Jeg løste derfor i syre rene spaltestykker av kalkspat fra forskjellige Kongsberglokaliteter, og kunde i adskillige tilfelle med letthet påvise klorid og/eller sulfat i opløsningen. Forresten viser også den hyppige forekomst av barytt at opløsningene har holdt sulfationer.

Fluoritt viser at opløsningene har holdt fluorioner.

Kvarts, feltspater og zeolither viser for det første at opløsningene har holdt kiselsyre og aluminium, og for det annet at opløsningene sannsynligvis har været alkaliske. Feltspater og zeolither gir nemlig vann en alkalisk reaksjon, hvis størrelse er bestemt av R. E. Stevens (113). Denne hydrolyse av silikatmolekylet fører til en likevekt, og må ha været umulig under disse mineralers dannelse. Forsøk av G. W. Morey (se C. S. Ross (102)) viser at alkali (i små mengder) er nødvendig for at kiselsyre kan krystallisere av vandige opløsninger som kvarts. Kiselsyre finnes jo også bare i ringe mengde løst i sure opløsninger (sure kilder, sekundære sulfidleier) — her spiller imidlertid kanskje kolloid opløsning en rolle.

Ertsmineralene på gangene viser at elementer som kobber, bly, sink og jern må ha været til stede i merkbare mengder ved siden av sølvet.

Endelig viser analysene av sølvmineralene selv (120) at der har inngått en rekke tunge metaller i opløsningene, og disse metaller kan vi med *sikkerhet* si har været til stede i de samme opløsninger som de som avsatte sølvet. — Jeg gjør opmerksom på at jeg her (og senere) bruker ordene "tunge metaller" i den betydning de har i kjemien, svarende vesentlig til mineralogiens betegnelse ertsmetaller. De viktigste forurensninger i sølvmineralene er kobber, kvikksølv og antimon; i mindre mengder inngår bly, vismut, arsen, jern, gull, platinametaller; muligens kobolt, nikkel og sink, og i meget små mengder ennu flere.

Man kan intet sikkert si om opløsningenes konsentrasjon. Såvidt jeg kan forstå er det intet i veien for at deres innhold av jordalkalimetaller (kalcium) og alkalimetaller (natrium), klorid, sulfat og karbonat kan ha været betydelig. Forholdsvis lett opløselige mineraler som barytt og kalkspat er felt i store mengder; og det ligger i sakens natur at de ellers allestedsnærværende kloridioner og natriumioner ikke er felt på gangene, men er vandret videre.

Sølvionenes konsentrasjon i opløsningene har efter alt å dømme været meget liten. Man har ofte tenkt sig at opløsningene har været kulsyreholdige, og at sølvet derfor har været løst som bikarbonat; og det er skrevet adskillig for å vise at sølvbikarbonatets opløselighet (eller rettere sølvkarbonatets opløselighet i kulsyreholdig vann) er stor nok til at alt sølv kan tenkes å være tilført i denne form. Denne opløselighet er ifølge G. S. Johnston (65) 0,0846 %; ifølge O. Haehnel (51) ved 1 atmosfæres kuldioksydtrykk 0,105 %, ved 50 atmosfærer 0,170 %. L. G. Ravicz (97) fant at ved nærvær av kalkspat eller ved tilsetning av alkalikarbonater felles noget av det således opløste sølv, men det blir dog adskillig igjen i opløsningen. — I en sølvbikarbonatopløsning vil det meste sølv foreligge som sølvioner. Men opløsningene i naturen har, som nevnt, sannsynligvis holdt klorioner. Sølvklorid løses tungt nok i rent vann (ved 100° ca. $2{,}17.10^{-3}$ %). Ved tilsetning av alkaliklorider til opløsningen avtar opløseligheten først, for senere å stige med mere alkaliklorid (3, 31, 94). Ved almindelig temperatur ligger den minste opløselighet ved 0,0025 molare opløsninger av kalium- eller natriumklorid. Ved høiere konsentrasjoner av alkaliklorid kan betydelige mengder sølvklorid løses, men da foreligger praktisk talt alt sølv som kompleksioner. — Som eksempel kan jeg nevne at ved 90° er opløseligheten i 7,5 %-ig natriumklorid 0,024 g pr. 100 ml. — Denne kompleksdannelse mellem sølvklorid og andre, opløselige, klorider er meget viktig, fordi konsentrasjonen av de virksomme sølv*ioner* derved i alle fall må trykkes ned til *meget* lave verdier. Det er klart at dette må spille en stor rolle både for de fellingsreaksjoner og de elektrolytiske reaksjoner som kan optre.

Da man intet vet om størrelsesordenen av de kloridmengder som har været til stede i de sølvavsettende opløsninger, kan man heller intet sikkert si om i hvilken grad de prosesser jeg senere skal omtale kan være modifisert ved denne kompleksdannelse.

Som eksempler på virkningen kan jeg nevne: i nøitral væske felles sølvopløsninger av arsenater under dannelse av sølvarsenat; sølvklorid løst i mettet natriumkloridopløsning gir intet bunnfall med opløselige arsenater. Kuprosalter i svakt sur opløsning reduserer øieblikkelig ut metallisk sølv av sølvopløsninger. Kuproklorid og sølvklorid, begge løst i natriumkloridopløsning, reagerer ikke med hverandre når opløsningene blandes.

Sølvsulfid synes å felles næsten like lett av kloridholdige opløsninger som av kloridfri, hvilket vel henger sammen med dets uhyre lille opløselighet. De sølvavsettende opløsninger synes, iallfall delvis, å ha måttet inneholde svovelioner — det er jo sulfider på gangene — og da må ikke bare sølvionkonsentrasjonen men også sølvkonsentrasjonen ha været liten.

Av lignende grunner må konsentrasjonen av andre tunge metaller ha været lav. Således felles kobber og bly (29) og kvikksølv (15) næsten fullstendig av sine opløsninger av kalkspat; også jern felles delvis slik. Dessuten er det jo karakteristisk for de hydrotermale forekomster at de er jernfattige (134). Kompleksdannelse ved klorider kan ha spillet en rolle også for disse metaller; for f. eks. jern er det også naturlig å tenke sig at det kan ha foreligget som komplekst fluorid og derved i større eller mindre grad ha været „maskert“.

Det er karakteristisk for Kongsbergforekomsten at sølvet alene utgjør mere enn metaller som bly, sink, kobber, kvikksølv tilsammen. Men dette behøver ikke bety at opløsningene har holdt så meget mere sølv; det kan skyldes at sølvet er felt ved en reaksjon som er spesifikk for dette metall. Jeg har gjort nogen orienterende forsøk med å redusere sølv, raskt eller langsomt, ut av opløsninger som var tilsatt forskjellige andre tunge metaller (kobber, arsen, antimon, nikkel, jern) i mengder ekvivalente med sølvet, ved forskjellige reduksjonsmidler (ferrosulfat, hydroksylaminsulfat). Bortsett fra de tilfeller hvor antimon var satt til, og hvor komplikasjoner trådte til, falt sølvet alltid meget rent ut. Når metallisk sølv derfor i naturen er falt så rent ut, behøver dette ikke bety noget — det er sjelden så rent som jeg fikk det ved fellingene; og når sølvsulfid er falt så rent ut, kan dette skyldes at der har været et sådant innhold av, eller en sådan tilførsel av, sulfidioner til opløsningen, at sølvsulfid som det næst tyngst opløselige av sulfidene er falt alene ut; mens kvikksølvsulfid (som er tyngre opløselig) ikke er felt, enten fordi opløsningene ikke holdt noget kvikksølv i den periode i malmavsetningen som gav anledning til sølvglansens dannelse, eller fordi den alkaliske reaksjon kanskje har holdt det i opløsning.

At svovelmangel vil bevirke at sølvsulfid faller rent ut, fremgår av dette forsøk: sølvglans (syntetisk) som isomorft tilblandet inneholdt 3 % kuprosulfid blev ophetet i nogen timer til 130° i en sølvsulfatopløsning. Kobberet blev derved fortrengt av sølv.

Hele miljøet har, som man kunde vente det på større dyp, været reduserende. Det vises tydeligst av forekomsten av dyskrasitt og scherbenkobalt, som forresten begge er sjeldne. Også de organiske stoffer viser kanskje reduserende egenskaper hos opløsningene. Det er da vel også i siste instans som en følge av det reduserende miljø at sølvet er felt metallisk.

Foruten at elementene har været til stede i ioneform er det også mulig at enkelte av dem kan ha været til stede i form av kolloider av sine forbindelser. Jeg skal senere omtale muligheten for at sølvsulfid har været til stede i denne form. Da opløsningene, som nevnt, vel har været alkaliske, må man i første rekke tenke på ting som kiselsyre, aluminiumhydroksyd, kanskje jernhydroksyd. Forekomsten av kvarts, zeolither og feldspater (adular og hyalofan) på gangene viser jo iallfall at disse elementer har været til stede i en eller annen form. At kolloider ikke synes å ha spillet nogen rolle ved avsetningen av de tunge metallers sulfider, fremgår av at de trekk som først og fremst karakteriserer avsetninger av kolloiddispers fase, nemlig radialstrålige-konsentrisk-skallige strukturer, ikke er kjent fra Kongsberg. Noget *bevis* er dette naturligvis ikke.

Svovel kan ha været til stede i forskjellige former i opløsningene. Tidligere er omtalt at opløsningene har holdt sulfater; og det er, såvidt jeg kan forstå, intet til hinder for at opløsningenes innhold herav kan ha været relativt betydelig.

Det kunde være av interesse å få bragt på det rene under hvilke former sulfider kan ha været til stede i opløsningene. Sølvet foreligger jo dels som sulfid og sulfosalter, for sin største del imidlertid som metallisk sølv, og endelig for en liten dels vedkommende som sølvsulfid på en sådan måte at det er tydelig at oprinnelig metallisk sølv sekundært er overført i sulfid (resulfidert trådsølv).

Opløsningene kan ikke alltid ha inneholdt polysulfider eller fritt svovel, da disse raskt overfører sølv i sølvsulfid (74), polysulfider ved almindelig temperatur, fritt svovel raskt ved 120—130°, langsomt ved almindelig temperatur (egne forsøk).

Svovelvannstoff i vann er ikke bestandig ved høiere temperaturer. Forskjellige steder i litteraturen kan man finne at svovelvannstoffvann spaltes ved ophetning i lukket rør til ca. 200°, idet der dannes fritt svovel og svovelsyre. Natriumsulfid forandres ikke på denne måte. For nu å prøve om denne reaksjon går merkbart også ved lavere temperatur, og samtidig prøve dens avhengighet av opløsningens surhetsgrad, gjorde jeg følgende forsøk:

Av friskt utkokt destillert vann fremstillet jeg en kalilut med normalitet 0,0489. Til denne opløsning blev ledet svovelvannstoff; den erholdte kaliumsulfid var 0,0520 normal med hensyn på sulfidioner, svarende til at der foruten kaliumsulfid også forelå noget kaliumhydrosulfid. I hvert av de senere (side 19) beskrevne bomberør blev der anbragt en sølvspiral (sølvtrådens lengde 25 cm, vekt 0,53—0,55 g, overflate ca. 4 cm^2). Rørene blev fylt med kvelstoff, og i hvert rør fyltes 25 ml av den nylagede sulfidopløsning, og i det første rør ytterligere 25 ml vann, og i de andre rør voksende mengder svovelsyre (av normalitet 0,1168) og vann til det samlede væskevolum i alle rør var 50 ml. I det siste rør, hvor mest svovelsyre var tilsatt, var dennes mengde akkurat tilstrekkelig til å nøitralisere 25 ml av den anvendte kalilut, således at alt svovel her forelå som fritt svovelvannstoff. Rørene blev efter gjensmeltning ophetet i en termostat til 130° i 6 timer. Resultatene er fremstillet i tabell 1 og i fig. 1. Her betyr N KOH mengden av den kalilut som ikke er nøitralisert av den tilsatte svovelsyre (og som altså før ophetningen fremdeles foreligger som kaliumsulfid eller kaliumhydrosulfid), og er

Tabell 1.

Nr.	N KOH	N S^{--}	*p* mg
1	0,0244	0,0259	0
2	0,0196	0,0261	0
3	0,0147	0,0231	0,1
4	0,0097	0,0185	1,1
5	0,0048	0,0067	1,4
6	0	0	0

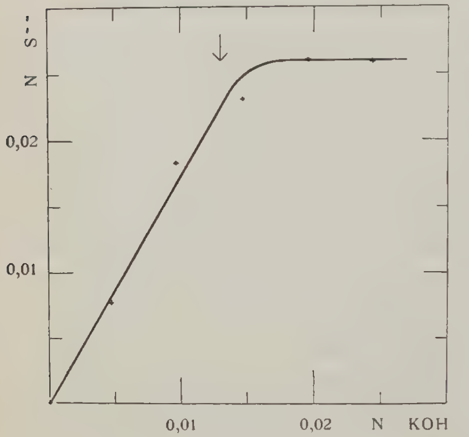


Fig. 1.

et mål for den tilsatte mengde svovelsyre. $N\ S^{--}$ er sulfidionnormaliteten efter ophetningen (før ophetningen er den jo i alle rør den samme, 0,0260, fullstendig dissosiasjon forutsatt). p er sølvtrådenes vekstforøkelse. I figuren viser pilen det punkt hvor alt svovel foreligger som kaliumhydrosulfid.

Tabellen, og tydeligere figuren, viser at en mengde sulfidioner, i hvert forsøk svarende til den mengde som foreligger som fritt svovelvannstoff, er fullstendig forsvunnet fra opløsningen, mens den mengde som kan beregnes å foreligge som kaliumsulfid eller kaliumhydrosulfid gjenfinnes uforandret. Opløsningene inneholdt ikke sulfitt, svovelsyrling, fritt svovel, polysulfider eller thiosulfat. Der er dannet sulfat eller polythionsyrer eller begge deler. Svovelmengden i hvert rør var 20,6 mg, og den dertil svarende svovelvannstoffmengde kan altså forsvinne uten at der er dannet en ekvivalent mengde sølvsulfid. De dannede mengder herav er små og tilfeldige, og skyldes rimeligvis bare at det ikke er lykkedes å holde rørene fullstendig luftfri under ifyllingen. — Forsøket viser at hvis varme, naturlige opløsninger skal kunne inneholde opløst sulfidioner, må de være alkaliske.

I mange almindelige lærebøker står det at metallisk sølv lett reagerer med svovelvannstoff. Dette er ikke tilfelle. Forsøk av S. Lilienfeld og C. E. White (75) har vist at reaksjon (sværtning) ikke inntrer, selv i løpet av meget lang tid ved almindelig temperatur, såfremt luften ikke har adgang. (R. Gans (42) kom riktignok til det motsatte resultat, men det er grunn til å tro at han har gjort en forsøksfeil). Hvis luften kommer til, inntrer sværtning meget raskt. Disse resultater har jeg bekreftet. — Meget grundig er reaksjonen mellem metallisk sølv og svovelvannstoffgass undersøkt av H. Reinhold og H. Seidel (99). De fant at ved alle temperaturer er sølvets reaksjonshastighet med svovelvannstoff flere tierpotenser mindre enn med elementært svovel. Reaksjonshastigheten er tilnærmet proporsjonal med svovelets partialtrykk i svovelvannstoffet. Det er ikke diffusjonen som er hastighetsbestemmende, men delreaksjonen på fasegrensen MeX/X. Der er intet sprang ved 179° (omvandlingstemperaturen av de to sølvsulfidmodifikasjoner i hverandre). Reaksjonskonstanten er ved 136° $0{,}125.10^{10}$; ved 150° $0{,}214.10^{10}$; ved 200° $0{,}92.10^{10}$, altså meget stor, så stor at det er vel forståelig at det ser ut som om reaksjonen ikke går ved temperaturer lavere enn 100°. — Mine forsøk viser da også at svovelvannstoff i vandig opløsning ved 130° spaltes langt raskere enn det er i stand til å reagere med sølvet. F. L. Hahn (52) og K. Fischbeck (39) har vist at sølv ikke reagerer med alkalisulfider, mens alkalipolysulfider øieblikkelig gir rikelig sølvsulfid. Den siste viste også at alkalisulfider angriper sølv såfremt dette er anodisk polarisert. — Det er mulig at dette kan skje i naturen, da sølv er så edelt. — Jeg har selv opbevart en sølvtråd i polysulfidfri natriumsulfid i over et år, i flere dager også ved 100°, uten at der er inntruffet den minste sværtning.

Det synes efter dette i grunnen ikke å være noget i veien for at sølv kan bestå, eller endog utskilles metallisk, i opløsninger som inneholder meget alkali-(jordalkali)-sulfid. Dog taler noget for at opløsningene allikevel ikke har holdt meget sulfid. Vel er sølvsulfid uhyre tungt opløselig i vann, og ifølge J. W. Gruner (49) og L. G. Ravicz (97) også meget lite opløselig i opløsninger av alkalier eller alkalisulfider; men dette behøver ikke være en hindring for at meget store sølvmengder ved høiere temperatur kan transporteres i kompleksdannende opløsninger, selv om disse holder sulfidioner i nogen mengde. Den omstendighet at der foreligger så lite av *andre* tunge metaller på gangene taler for at der har været *lite* svovel, således at ikke alt er felt, men næsten bare sølv. Også det at sølvglansen på Kongsberg kan være næsten kjemisk rent sølvsulfid taler for at der har været svovelunderskudd (smlg. det side 10 nevnte forsøk). Mineraler som dyskrasitt og scherbenkobalt viser at det har været svovelmangel der hvor de er avsatt. Men de er dessverre meget sjeldne på Kongsberg.

En resulfidering av det metalliske sølv er ingen sjeldenhet på Kongsberg. Man kan finne temmelig tykke tråder av sølv som efter sin dannelse er overført fullstendig i sølvsulfid. Her er altså skjedd en oksydasjon, og da ifølge det foranstående svovelvannstoff ikke kan ha været virksomt og alkalisulfid bare ved anodisk polarisasjon, må man anta at det iallfall undertiden også har været andre virksomme stoffer til stede. Som oksydasjonsmidler som kan virke i alkaliske sulfidopløsninger kunde jeg tenke mig femverdig arsen eller femverdig antimon. Disse skulde da virke efter ligningen:

$$SbS_4^{---} + 2\,Ag = Ag_2S + SbS_3^{---}$$

og tilsvarende for arsen. Jeg prøvet dette ved to forsøk: To sølvspiraler, lengde 25 cm, vekt ca. 0,5 g, blev anbragt i hver sitt bomberør; den ene med 25 ml 0,1-normal kaliumsulfid plus 25 ml 0,033-molar natriumarsenatopløsning; den annen med 25 ml av den samme kaliumsulfid plus 25 ml 0,03-molar kaliumpyroantimonatopløsning. Rørene blev fullstendig evakuert, lukket og ophetet i termostat i 6 timer til 130°. Efter ophetningen var tråden i det arsenholdige rør bare ganske lett sværtet i den ene ende, og dens vekt var uforandret. Tråden i det antimonholdige rør var dekket med et tykt lag små grå krystaller som i farve og glans lignet sølvglans; hist og her var der også rødlige krystaller (sulfosaltet?) Tråden var tiltatt 21,3 mg i vekt. Forklaringen på resulfideringen kan da kanskje være at antimonholdende sulfidopløsninger har virket lokalt efter den egentlige malmavsetningsperiode, eller iallfall efter trådsølvdannelsen.

Den sannsynligste sammensetning av de sølvavsettende opløsninger vil efter alt dette være:

Opløsningene har været nøitrale eller alkaliske med karbonater, sulfater og klorider av alkali- og jord-alkalimetallene som hovedbestanddeler; med små mengder kolloid kiselsyre og aluminiumhydroksyd og med små mengder anioner som fluor. I vel ennu mindre mengder har der været en rekke tunge metaller: sølv, kobber, bly, kvikksølv, arsen, antimon, vismut, jern, mangan, kobolt, nikkel, sink og kanskje ennu flere. Disse metaller har foreligget i ioneform, som frie ioner, eller som komplekse fluorider eller klorider e. l. Opløsningenes innhold av sulfid har efter alt å dømme været ubetydelig eller manglende; men dette er usikkert. Det er tvilsomt om der overhodet har været noget fri kullsyre til stede.

Det hele behøver neppe ha været så forskjellig fra moderne, tertiære eller eldre termalvann. De overordentlig tallrike slike vann som er analysert viser naturligvis meget store forskjeller, men også enkelte like trekk: hovedinnholdet er alkalier og jordalkalier vesentlig sammen med de allestedsnærværende klor- og karbonationer, men oftest også sulfationet. Sulfidionet mangler oftest. I små mengder finnes fluorider, borsyre og kolloidal kiselsyre. Tunge metaller er påvist mange ganger, ofte flere metaller sammen i samme vann, men alltid i ytterst beskjedne konsentrasjoner, således at de bare med vanskelighet kan påvises. Reaksjon nøitral eller svakt alkalisk. Saliniteten kan være fra 2—300 til 10 000 pr. 10^6 deler vann.

Selvsagt må man, som før bemerket, være klar over at der så vel lokalt som i tid har været plass til store variasjoner på Kongsberg. Helt ukjent er det også i hvilken grad opløsningene har blandet sig med andre opløsninger, f. eks. med vadost vann.

Temperaturen under sølvavsetningen: Det er almindelig antatt at sølvet er avsatt på gangene ved forholdsvis lav temperatur. Hele mineralselskapet viser hen på 100—200°. C. Bugge (25) og A. Bugge (21) utreder dette nærmere; ifølge den siste er det rimelig at temperaturen har været nærmere 100 enn 200°.

H. C. H. Carpenter og M. S. Fisher (26) kunde ved en av dem funnen slipemetode fremkalle mikrostrukturen hos metallisk sølv. De undersøkte da også et stykke plateformet sølv fra Kongsberg, og fant at det begynte å omkrystallisere ved ophetning til 210°, hvilket viser at det må være dannet ved en lavere temperatur og aldri tidligere kan ha været ophetet så høit. — Det er foretatt flere undersøkelser for å fastslå den temperatur ved hvilken rent sølv, som ikke viser nogen likevektsstruktur, begynner å omkrystallisere. Jeg kan nevne at G. Tamman (124) fant 140°.

Jeg har valgt å gjøre de fleste av mine forsøk ved 130°. Det er en temperatur som turde ligge nær optil den som har hersket under sølvavsetningen. Sannsynligheten av denne lave temperatur gjorde det nødvendig å finne en ny (og i og for sig rimeligere) forklaring på dannelsen av det såkalte trådsølv, og kan videre tjene til å skjalte ut enkelte reaksjoner som vel kunde tenkes å ha spillet en rolle ved forekomstens dannelse, men som viser sig å gå meget langsomt, eller slett ikke, ved denne temperatur.

Sølvets utfelling på gangene.

Hvorledes kan man så tenke sig at sølvet er felt ut av disse tynne opløsninger som sulfid eller som metallisk sølv? Der foreligger her en rekke muligheter, hvorav flere kan være sannsynlige. Man må være klar over at av flere mulige prosesser vil den sannsynligste være den som virker raskest. Det er derfor viktig, ikke bare å fastslå at en prosess kan gå i det hele tatt, men også å bestemme hvor hurtig den går; i det hele må man søke å bestemme de forskjellige prosessers relative hastighet under så vidt mulig like betingelser.

Der foreligger i alt fire forskjellige hovedmuligheter for sølvfellingen:

1. Sølvopløsningene kan ha reagert med eldre mineraler i gangene eller deres sidesten.
2. Sølvet kan være felt ved elektrolyse (eller andre fysikokjemiske prosesser).
3. Sølvopløsningene kan ha reagert med andre, annetsteds fra tilsigende opløsninger.
4. Sølvopløsningene har ikke reagert med noget annet i det hele, men sølvfellingen skyldes prosesser som foregår i opløsningene selv.

Disse fire muligheter, som delvis griper over i hverandre, behandles i det følgende vesentlig hver for sig. De fleste av mine forsøk er utført for å belyse fellingen ved mineraler. Når jeg allikevel behandler de andre muligheter, er det for å få det hele mest mulig i en logisk sammenheng. Da dette arbeide er av rent kjemisk art, har jeg ved opstillingen av disse muligheter sett bort fra at f. eks. den tredje av geologer muligens vil opfattes som lite rimelig.

1. Sølvopløsningers reaksjon med mineraler.

Spørsmålet er: i hvilken form og med hvilken (relative) hastighet kan de forskjellige mineraler som finnes i gangene og i deres sidesten felle sølv av rene sølvopløsninger, og av sølvopløsninger tilsatt andre tunge metaller, og hvilke reaksjoner er det som foregår?

Prosessene får en viss likhet med dem man antar har været virksomme ved sekundæranrikning av sølv og sølvglans ved forvitrende forekomster, og mange av de resultater man har fått ved undersøkelsen herav kan anvendes her — dog med de modifikasjoner som er en nødvendig følge av at temperaturen her er noget høiere, og forholdene for øvrig også noget anderledes.

Når man ser bort fra de egentlige gangmineraler (kalkspat, flusspat, kvarts, barytt), som man, av før antydede grunner, må anta ikke har kunnet felle sølv, er de mineraler som finnes i gangene og deres sidesten, og som man kunde formode vilde være virksomme; kiser (sulfider, sulfosalter, arsenider etc.), silikater og oksydiske mineraler. I det følgende behandler jeg de tre grupper av mineraler hver for sig.

Sølvopløsningers reaksjon med kiser.

Ved sølvopløsningers reaksjon med kiser kan man skille mellem fire tilfeller:

A. Rene sølvopløsninger reagerer med rene mineraler.

B. Sølvopløsninger som foruten sølv inneholder ett (eller flere) andre tunge metaller reagerer med rene mineraler.

C. Rene sølvopløsninger reagerer med en mekanisk blanding av to eller flere mineraler.

D. Sølvopløsninger som de under *B* nevnte reagerer med en blanding av to eller flere mineraler.

De forsøk som faller inn under kategorien *C* omtaler jeg under forsøkene med elektrolyse; og forsøk under *D* har jeg overhodet ikke utført, fordi forholdene da blir noget for innviklede.

A. Rene sølvopløsningers reaksjon med rene kiser.

Herom er der i tidens løp skrevet adskillig. Selv i dette det enkleste tilfelle er forholdene temmelig kompliserte, idet en hel rekke faktorer spiller inn. Ett og samme mineral fra forskjellige lokaliteter synes undertiden å kunne opføre sig noget forskjellig, uten at man har kunnet si hvorfor. De dannede produkter er sølv og sølvsulfid; disse kan dannes hver for sig eller samtidig. Det som bestemmer hvad som dannes og reaksjonshastigheten er opløsningenes konsentrasjon og surhetsgrad, temperaturen, mineralets virksomme overflate og kjemiske sammensetning og de med den siste sammenhengende opløselighet i vann, spaltbarhet og elektriske egenskaper. Jeg skal nevne nogen av de tidligere arbeider:

Den første som undersøkte sulfatopløsningers reaksjon med sulfider var E. F. Anthon (2). Hans forsøk er gjentatt fullstendigere av E. Schürmann (106) som fant at sulfidene kan stilles op i en rekke hvor hvert sulfid vil felle av sulfatopløsning som sulfid alle de metaller som er høiere i rekken, mens angjeldende metall selv felles av sulfidene av de metaller som står lavere i rekken. Rekken er:

Pd Hg Ag Cu Bi Cd Pb Zn Ni Co Fe Tl Mn.

Alle de nevnte metallers sulfider, undtagen palladiums og kvikksølvs, vil altså felle sølv av sølvsulfatopløsninger. Serien synes å svare til de metasomatoser som finnes i naturen (37). — J. Lemberg (73) undersøkte svovelsure sølvsulfatopløsningers reaksjonsevne på frisk polerte flater av kiser, og inndelte kisene derefter i fire grupper: 1: De som raskt omsettes i sølvsulfid (sinkblende, auripigment, greenockitt); 2: Som raskt utfeller fritt sølv (løllingitt, broget kobber, kobberglans, smaltin, rødnikkelkis, arsen, chloantitt, fahlertser); 3: Som under omstendigheter gir fritt sølv (blyglans, milleritt, magnetkis, koboltnikkelkis, kobberkis, gersdorffitt, antimonnikkelglans) og 4: Som forandres meget langsomt av sølvopløsninger (pyritt, markasitt, koboltnikkelkis, delvis fahlerts). Disse forsøk gjorde han ved forskjellige temperaturer op til 100°, og fant at ved denne siste temperatur er dannelsen av metallisk sølv umerkelig i løpet av 1—15 minutter; der dannes bare sølvsulfid. — Schürmanns resultater er forresten bekreftet av R. C. Wells (139).

C. Palmer og E. S. Bastin (91) undersøkte mineralenes evne til å felle sølv av $^1/_{40}$-normal opløsning ved almindelig temperatur. Tilsetning av natriumbisulfat til opløsningen bevirket ingen forandring, og tilsetning av kobbersulfat eller sinksulfat hadde liten eller ingen forandring tilfølge. De gir en rekke for mineralene efter deres virkningsgrad:

Meget sterk: Kobberglans, niccolitt.

Sterk: Covellin, enargitt, bornitt, tennantitt, alabandin og muligens koboltglans.

Moderat: Speiskobolt, markasitt, magnetkis, kobberkis, arsenkis.

Svak eller uvirksom: Zinnober, antimonglans, blyglans, svovelkis, milleritt, sinkblende, jamesonitt, auripigment, realgar.

De mener at hydrolyse spiller en viktig rolle i reaksjonene.

C. Palmer (89) fremhever som et viktig sølvfellende mineral niccolitt. Han (90) slutter av kvantitative forsøk at i speiskobolt ($CoAs_2$), løllingitt ($FeAs_2$), saffloritt ($CoAs_2 . FeAs_2$), maucheritt (Ni_3As_4) og niccolitt ($NiAs$) oksyderes arsenet av sølvet i sølvsulfat til arsensyrling. Svovelkis (FeS_2), markasitt (FeS_2) og haueritt (MnS_2) angripes ikke av sølvsulfat, og heller ikke arsenkis ($FeAsS$), koboltglans ($CoAsS$) eller ullmannitt ($NiSbS$). Derav slutter han at gruppene $—S_2$ og $—AsS$ neppe feller sølv.

E. Posnjak (95, 96) fant at så vel naturlig som kunstig kuprosulfid feller både sølv og sølvsulfid, mens naturlig og kunstig kuprisulfid feller bare sølvsulfid, efter ligningene:

$$Cu_2S + 4\,AgNO_3 = 2\,Cu\,(NO_3)_2 + Ag_2S + 2\,A$$
$$CuS + 2\,AgNO_3 = Cu\,(NO_3)_2 + Ag_2S$$

og at dette kan benyttes til å bestemme mengdeforholdet mellem de to sulfider av kobber i en blanding (med en feil på 1,5 %).

Ifølge W. H. Emmons (37) behandlet H. C. Cooke pulverisert antimonglans med kold, tynn sølvsulfatopløsning, og fikk en rik antimonsølverts, som han dog ikke identifiserte som polybasitt.

For øvrig kan jeg nevne arbeider av F. F. Grout (47), R. C. Wells (139) og G. Shouten (108).

Alle de nevnte forsøk er ikke direkte sammenlignbare. De er utført med mineraler av meget forskjellig og til dels ukjent kornstørrelse, ved forskjellige temperaturer og med sølvopløsninger av forskjellig konsentrasjon. Forsøksvarigheten er også meget forskjellig.

For nu å få sammenlignbare, kvantitative og reproduserbare målinger av de forskjellige kisers sølvfellende evne valgte jeg denne fremgangsmåte:

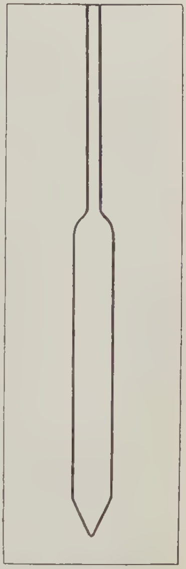


Fig. 2.

Alle forsøk er gjort i rør av nøiaktig samme form (fig. 2). Deres volum er ca. 100 ml. De er lette å fylle og smelte igjen, og også lette å evakuere når dette er påkrevet. De er laget av duranglass eller andre tungtangripelige glassorter. De blev ophetet ved å stilles loddrett i et oljebad, således at oljen gikk et stykke opover stilken. Oljebadet var utstyrt med rører, og blev ved hjelp av en termoregulator ophetet til en bestemt temperatur i et bestemt antall timer. Som temperatur valgte jeg 130°, som vel kan ha hersket i naturen. Forsøksvarigheten er oftest 20 eller 6 timer. Da jeg, av hensyn til eksplosjons- og brannfaren, ikke kunde ophete mine rør om natten, måtte ophetning til 20 timer fordeles på 2 eller 3 dager. Dette synes dog ikke å influere resultatene, fordi reaksjonshastighetene efter en første ophetning på nogen timer vil være meget små ved værelsetemperatur. Ved en del forsøk er, av forskjellige grunner, rørene ophetet bare til 100°.

Til alle forsøk er anvendt 50 ml væske. Som sølvopløsning er anvendt næsten mettet sølvsulfat-opløsning. Sølvnitrat turde jeg ikke bruke på grunn av nitrationets oksyderende virkning, mens sulfationet, som nevnt, meget vel kan ha været til stede i de naturlige opløsninger. Undertiden har jeg anvendt sølvbikarbonat (sølvkarbonat løst i kullsyreholdig vann). Den felte sølvmengde blev bestemt ved efter avkjøling å ta ut en alikvot del av de 50 ml (10—15 ml) og bestemme den gjenværende sølvmengde ved titrering med ammoniumrhodanid efter Volhard. De to paralelltitreringer avvek sjelden med mere enn 0,02 ml, var avvikelsen større, blev der gjort flere titreringer. Som kontroll blev sølvet undertiden også bestemt vektsanalytisk, således i kobberholdige opløsninger, med tilfredsstillende resultat.

De anvendte mineraler er, når de ikke kunde skaffes helt rene, efter forsiktig grovknusning utplukket så rene som mulig under lupen. De er så knust op og siktet. Til forsøkene blev anvendt fraksjonen 40—80 mesh. Til hvert forsøk er avveiet nøiaktig 1,000 gram mineral (undertiden 0,500 g). Når jeg valgte å ta like store vektsdeler av mineralene i steden for å veie dem av slik at de fikk like store virksomme overflater, har dette flere grunner. Selv tilsynelatende friske krystaller kan inneholde tallrike, usynlige spalter, hvilket E. C. Sullivan (121) viste ved forsøk; det gjør en nøiaktig beregning av deres virksomme overflater temmelig illusorisk. De forskjellige mineraler spaltes op på en meget forskjellig måte, således at de enkelte korns overflate ikke uten videre kan beregnes av deres utmålte diametre. F. eks. gir blyglans terninger, antimonglans lange nåler, molybdenglans tynne skjell, svovelkis og magnetkis temmelig runde stykker. Når jeg har valgt så rummelige grenser for kornstørrelsen som 40—80 mesh, er det fordi det ellers vilde ha været vanskelig å skaffe tilstrekkelige mengder rene kiser. Forsøkene er altså ikke *helt* sammenlignbare for de forskjellige mineraler.

De anvendte kiser fremgår av tabellen side 21.[1]

Jeg gjorde også nogen prøver med syntetisk fremstillede mineraler. (Forresten fant E. G. Zies og medarbeidere (144) ved forsøk med felling av kobbersulfatopløsninger at der ikke er nogen forskjell på naturlige og kunstige mineraler.) Jeg fremstillet (efter K. Jellinek og J. Zakowski (63)) antimonglans, kobberglans og covellin. Analyser viste de teoretiske sammensetninger.

Som kontroll på at glasset i rørene ikke reagerer med sølvopløsningene ophetet jeg i hvert av to rør 50 ml sølvsulfatopløsning av normaliteten 0,04706 i 6 timer til 130°. Efterpå fantes ved titrering av prøver på 10 ml normalitetene 0,04704 og 0,04715; i middel 0,04710 — uforandret innenfor avlesefeilen på byretten.

---

[1] Konservator Ivar Oftedal har velvilligst skaffet mig de fleste av disse mineraler fra Universitetets samlinger på Tøyen, hvorfor jeg bringer ham min hjerteligste takk.

Nr.	Mineral	Formel	Lokalitet
1	Svovelkis	FeS_2	Sætregruben, Østfold
2	Kobberkis	$CuFeS_2$	Telemark
3	Magnetkis	Fe_nS_{n+1}	Sætregruben, Østfold
4	Koboltglans	$CoAsS$	Skutterud, Modum
5	Arsenkis	$FeAsS$	Darbu, Fiskum
6	Sinkblende	ZnS	Zinkholmen, Bellsund, Svalbard
7	Sinkblende	ZnS	Sauda
8	Kobberglans	Cu_2S	Bamanga, Ponthierville, Belg. Congo
9	Auripigment	As_2S_3	Ukjent
10	Molybdenglans	MoS_2	Knaben II
11	Antimonglans	Sb_2S_3	Ukjent
12	Vismutglans	Bi_2S_3	Kjenner, Asker
13	Blyglans	PbS	Przibram
14	Blyglans	PbS	Tarnowitz
15	Realgar	As_2S_2	Korsika
16	Skutterudítt	$CoAs_3$	Skutterud, Modum
17	Niccolitt	$NiAs$	Annaberg
18	Ullmannitt	$NiSbS$	Siegen
19	Proustitt	Ag_3AsS_3	Colquechaca, Peru
20	Proustitt	Ag_3AsS_3	Kongsberg
21	Markasitt	FeS_2	Karlsbad
22	Speiskobolt	$CoAs_2$	Riegelsdorf
23	Rammelsbergitt	$NiAs_2$	Schneeberg
24	Milleritt	NiS	Gap mine, Lancaster co. U. S. A.

For å kontrollere at forsøkene virkelig er reproduserbare har jeg gjort parallellforsøk med enkelte mineraler (tabell 2): 1,000 g mineral (40—80 mesh) i 50 ml sølvsulfatopløsning (normalitet ca. 0,045) i 20 timer ved 130°; som mål for den felte sølvmengde er opført prosent av den oprinnelig tilsatte mengde; nederst også to forsøk med kobberkis: 0,500 g, 6 timer, 130°, normalitet bare 0,0158:

Tabell 2.

Kis	% felt	
	1	2
Sinkblende, nr. 6	8,5	7,6
Blyglans, nr. 14	17,8	18,7
Arsenkis, nr. 5	54,2	50,3
Kobberkis, nr. 2	25,8	27,9

Tallene viser at forsøkene er reproduserbare. Jeg har derfor, og fordi forsøkene tar lang tid, i de fleste tilfeller ikke gjort parallellforsøk.

For å vise at den felte sølvmengde er proporsjonal med den tilsatte mineralmengde, og altså proporsjonal med mineralets overflate, gjorde jeg parallellforsøk med 1,000 og 0,500 g mineral (50 ml opløsning, 20 timer ved 130° — for magnetkis dog bare ophetet i 6 timer) — tabell 3:

Tabell 3.

Kis	% felt av	
	0,5 g	1,0 g
Koboltglans, nr. 4	6,8	10,4
Svovelkis, nr. 1	6,6	13,3
Auripigment, nr. 9	28,8	60,5
Magnetkis, nr. 3	13,5	20,6

En del forsøk er gjentatt, dels med mineraler fra andre lokaliteter, dels med syntetiske mineraler (tabell 4, 1,000 g mineral, 20 timer, 130°):

Tabell 4.

Kis	% felt sølv
Sinkblende, nr. 7	30,1
Sinkblende, nr. 6	8,5
Blyglans, nr. 13	17,8
Blyglans, nr. 14	19,4
Antimonglans, nr. 11	13,8
Antimonglans, syntetisk	14,3
Proustitt, nr. 19	5,6
Proustitt, nr. 20	4,6

Bortsett fra sinkblenden (hvorom side 28), ser man at resultatene er meget konstante. Viktig er det også at de dannede produkter i mikroskopet viste sig å være meget like for de forskjellige prøver av samme mineral. Dette viser berettigelsen av å anvende mineraler fra andre steder enn Kongsbergforekomsten, hvilket jeg er tvunget til, da helt rene mineraler ikke lar sig skaffe i tilstrekkelig antall eller mengder derfra.

For å avgjøre om det surstoff som befinner sig i den luftfylte øvre halvdel av rørene i nevneverdig grad er i stand til å oksydere de anvendte mineraler under de gitte forsøksbetingelser, ophetet jeg

0,500 g av forskjellige mineraler i vann i steden for i sølvsulfatopløsning. Bare magnetkis blev en smule angrepet, der var dannet litt svovelsyre og litt jernhydroksyder. For de andre var sulfatdannelsen såvidt påviselig.

Resultatene av en rekke forsøk med *sulfider*, utført på den nevnte måte (1,000 g mineral av størrelsen 40—80 mesh, 50 ml sølvsulfatopløsning av normalitet 0,042—0,046, 20 timer ved 130°) finnes i tabell 5, hvor de forskjellige mineraler er ordnet efter avtakende virkning. Der er alltid dannet sølvsulfid, og også i mange tilfeller en del metallisk sølv. Dette siste foreligger i forskjellige former, og i tabellen har jeg forsøkt å antyde hvad det er som er dannet. Dessverre er sølvkrystallene så små at det neppe vil være mulig å måle ut vinklene ordentlig på dem. Det kan være små, rundaktige krystaller („krystaller"), eller lange, forgrenede, grantrelignende („trær"), eller flate, meget tynne skjell („skjell"), eller tråder lignende det naturlige trådsølv („tråder").

Tabell 5.

Kis	Sølv-opløsningens normalitet	% felt	Anmerkning
Kobberglans, nr. 8	0,04265	100	Krystaller, rikelig
Covellin, syntetisk	0,04265	100	Intet sølv
Magnetkis, nr. 3	0,04551	99,2	Krystaller og trær
Vismutglans, nr. 12 ...	0,04265	68,6	Krystaller og skjell
Auripigment, nr. 9	0,04441	60,5	Intet sølv
Kobberkis, nr. 2	0,04551	44,9	Påfallende kompakte krystaller
Sinkblende, nr. 7	0,04551	30,1	Adskillig krystaller
Milleritt, nr. 24	0,04665	35,0	En del krystaller
Realgar, nr. 15........	0,04665	25,2	Små krystaller
Markasitt, nr. 21	0,04665	24,8	Skjell og store krystaller
Molybdenglans, nr. 10 .	0,04265	22,2	Sølv i mange former
Blyglans, nr. 14.......	0,04265	19,4	Hist og her krystaller
Blyglans, nr. 13.......	0,04265	18,7	Hist og her krystaller
Antimonglans, syntetisk	0,04265	14,3	Tråder og krystaller
Antimonglans, nr. 11 ..	0,04265	13,8	Tråder, krystaller og nåler
Svovelkis, nr. 1.......	0,04441	13,3	Adskillig krystaller
Sinkblende, nr. 6	0,04551	8,5	Ganske lite krystaller
Stefanitt (fra Kongsberg)	0,04441	5,6	Mange små krystaller
Proustitt, nr. 19.......	0,04665	5,6	Krystaller, m. sparsomt
Proustitt, nr. 20.......	0,04441	4,6	Krystaller, m. sparsomt

I siste kolonne har jeg forsøkt å antyde arten av det metalliske sølv, slik som det fortoner sig i mikroskopet, ved disse betegnelser. Da sølvsulfld alltid er dannet, nevner jeg intet om dette. —

Forsøkene er ikke utført til samme tid, hvorfor jeg har måttet bruke sølvsulfatopløsninger av litt forskjellig normalitet; denne er derfor opført i tabellen.

Det vilde være meget ønskelig å bringe på det rene hvor meget av sølvet er felt som metallisk sølv, og hvor meget som sulfid. Dessverre kjenner jeg ingen metode som tillater å bestemme dette ved nærvær av andre sulfider. Så lenge de to er alene kan man skille dem ved sur ferrisulfat- eller ferrinitrat-opløsning, hvori bare det metalliske sølv løses. Men andre sulfider løses i disse opløsninger på grunn av den sure reaksjon, under svovelvannstoff-utvikling; og dette svovelvannstoff feller det løste sølv igjen, eller det oksyderes av ferri-ionene til fritt svovel som også feller det løste sølv som sulfid. En rekke forsøk viste at metoden derfor her er fullstendig ubrukelig. — Jeg forsøkte også å løse sølvsulfidet i kaliumcyanid-opløsning (hvori sølv ikke løses så lenge luften ikke har adgang); men forsøkene førte ikke frem, blandt annet fordi mange av kisene også løses i kaliumcyanid. Jeg måtte derfor nøie mig med å fastslå under mikroskopet om der er meget eller lite metallisk sølv til stede.

Tabellen viser at selv disse enkle sulfider opfører sig ytterst forskjellig, ikke bare ved den hurtighet de feller med, men også derved at nogen feller bare, eller nesten bare sølvsulfid, mens andre ved siden av feller betydelige mengder metallisk sølv. Hvad skyldes dette forskjellige forhold?

Fellingen som sulfid.

Man skulde her anta at sulfidenes opløselighet skulde spille en stor rolle, og at fellingen derfor skulde gå paralellt med E. Schürmanns serie, eller snarere med de, senere nevnte, av O. Weigel bestemte opløseligheter. Likeså kunde affiniteten til svovel kanskje spille inn? Under passende konsentrasjonsbetingelser skulde man vente at enkelte av disse reaksjoner var reversible. Det er, ifølge H. Schneiderhöhn (105), merkelig nok ikke tilfelle. Han sier at talløse eksperimenter og naturiakttakelser (vesentlig på sekundærforekomster?) viser dette, og mener at det henger sammen med de to omstendigheter at de fleste sulfider er variable ledere og at de ikke løses på nogen enkel måte i vann. Reaksjonsforløpet mellem kiser og metallsaltopløsninger skulde da best kunne opfattes ved å forstå det hele som galvaniske elementer (irreversible); således at ioneutbyttingen først og fremst bestemmes ved metallenes spenningsrekke.

O. Weigel (137) har ved ledningsevnemålinger med stor nøiaktighet bestemt opløseligheten i vann av såvel krystalliserte som frisk felte (amorfe?) sulfider. Han kom til at sulfidene i vandig opløsning med stor sannsynlighet dissosierer trinvis, slik at den aller største del av det opløste foreligger som kompleksioner og bare en forsvinnende liten del som atomare ioner. De opløseligheter han kom til var (i mol. 10^{-6} pr. liter):

Krystalliserte		Frisk felte	
Alabandin	54,4	Mns	71,6
Magnetkis	53,6	ZnS	70,6
Svovelkis (Freiberg)	48,9	FeS	70,1
Svovelkis (kunstig)	40,8	CoS	41,6
Wurzitt (kunstig)	28,8	NiS	39,9
Milleritt (kunstig)	16,3	CdS	9,0
Greenockitt (kunstig)	9,0	Sb_2S_3	5,2
Sinkblende (Santander)	6,55	PbS	3,6
Sinkblende (kunstig)	6,63	CuS	3,5
Kobberglans	3,1	As_2S_3	2,1
Blyglans (Freiberg)	1,21	Ag_2S	0,55
Blyglans (kunstig)	1,21	Bi_2S_3	0,35
Sølvglans	0,55	HgS	0,054

L. Bruner og J. Zawadski (16) kommer ved å bearbeide dels egne bestemmelser (som er gjort ad analytisk vei) og dels andres, til helt andre verdier; de finner rekkefølgen: Mn Fe Tl Zn Cd Pb Bi Cu Ag Hg. De slutter derfor at ledningsevnemetoden ikke er brukbar til sådanne bestemmelser (ikke enkel dissosiasjon).

Det er efter dette ikke rimelig at man av de kjente opløseligheter skulde kunne regne sig til hvordan sulfidene reagerer med vandige opløsninger. Dog var det å vente at sølvsulfid, som det tyngst opløselige av de sulfider det dreier sig om, skulde falle ut på alle de andre, hvilket altså er tilfelle.

Problemet om den fraksjonerte felling av sulfider er også undersøkt av R. C. Wells (139, 141) ved tilsetning av et underskudd sulfid-ioner til blandede tungmetallsaltopløsninger. Han fant også at vesentlig bare ett sulfid (det tyngstopløselige) felles efter rekken: Hg Ag Cu Bi Cd Sb Sn Pb Zn Ni Co Fe^{II} As Mn. Lignende undersøkelser er foretatt av O. Ruff og B. Hirsch (103). Well's rekke stemmer, som man vil se, med Schürmanns.

K. Jellinek og J. Zakowski (63) fant at sulfidenes svoveltensjoner ved 0° tiltar omtrent efter rekken Pb, Fe, Co, Bi, Sb, Hg, Ag. Rekken viser ingen likhet med de foregående.

Oversikt over disse resultater (idet jeg sløifer av listene de elementer jeg ikke har gjort forsøk med):

Schürmann-Wells		Ag		Cu^{II}	Bi	Sb	Pb		Zn	Ni			Fe		
Weigel (krystallinske)		Ag					Pb	Cu^{I}	Zn	Ni			Fe		
Weigel (amorfe)	Bi	Ag	As	Cu^{II}			Pb	Sb		Ni			Fe	Zn	
Bruner-Zawadski		Ag		Cu	Bi		Pb		Zn				Fe		
Mine forsøk		Ag	Zn?			Sb	Pb	Mo		Ni	Zn	Bi	Fe	Cu^{I}	Cu^{II}

Rekkene stemmer, som man vil se, bare måtelig overens, men dog såpass at man kan anta, at det stort sett er sulfidenes relative opløselighet i vann som bestemmer hvor hurtig sølv skal felles på dem av sølvopløsninger. Påfallende er det dog at kobbersulfidene, som hører til de tyngst opløselige, feller sølv så raskt. For kuprosulfidets vedkommende henger dette muligens sammen med at det i ganske stor utstrekning er blandbart med sølvsulfid ved forsøkstemperaturen, likesom de to ved samme temperatur diffunderer ganske raskt i hinannen.

En annen ting som viser at det er vesentlig sulfidenes opløselighet som bestemmer deres sølvfellende evne, er den parallellitet der er mellem denne evne og deres evne til å nøitralisere en sur opløsning og til å redusere treverdig jern eller femverdig arsen i vandig opløsning. G. S. Nishihara (86) og F. F. Grout (47) gir lange lister over forsøksserier som er gjennemført ved almindelig temperatur og som viser dette for nøitralisasjon av svovelsyre og for reduksjon av treverdig jern. Jeg gjorde nogen få forsøk (deriblandt også med den først senere omtalte magnetitt) for å prøve om man har denne parallellitet også ved 130°. Jeg ophetet 0,500 g av mineralet (40—80 mesh) i 20 timer til 130° med 50 ml 0,05-molare opløsninger av kobbersulfat, ferrisulfat og natriumarsenat (som var nøitralisert med svovelsyre); og bestemte hvor meget kobber var felt og hvor meget jern og hvor meget arsen var redusert til den lavere valens. I ferrisulfatopløsningen var der dannet noget hydroksyd. I tabellen (tabell 6) er til sammenligning opført de tilsvarende resultater av forsøk med sølvsulfat, men med 1,000 g mineral.

Tabell 6.

	Ag_2SO_4 % felt	$CuSO_4$ % felt	$Fe_2(SO_4)_3$ % red.	Na_3AsO_4 % red.
Magnetkis, nr. 3	99,2	30,5	44,0	9,2
Sinkblende, nr. 7	30,1	23,5	13,5	1,3
Sinkblende, nr. 6	8,5	4,9	6,5	0,8
Magnetitt	6,6	3,1	6,3	1,0

Et viktig trekk må jeg fremheve ved alle disse forsøk, nemlig at det dannede sølvsulfid alltid er utfelt på mineralenes overflate, aldri har jeg iakttatt dannelse av kolloide sølvsulfidopløsninger eller av fintfordelt sølvsulfid i væsken. Mineralene fikk fullstendig sølvglansens farve og glans; hos f. eks. auripigment eller covellin så det hele ut som pseudomorfoser av sølvglans efter mineralet, idet mineralkornenes form var beholdt helt uforandret. Svovelet kan altså ikke ha foretatt nogen lengere vandring, men er stort sett blitt på plass, selv om der (nemlig på grunn av rumgitterforholdene) naturligvis ikke er tale om nogen fortrengning av metallsulfidene „molekyl for molekyl" — undtaken muligens hos kobberglans som jo er isomorft blandbar med sølvsulfid.

At svovelet ved fortrengninger iallfall i nogen grad vandrer aktivt, følger av at man såvel i naturen som ved kunstige forsøk (G. Shouten (108) og Zies-Allen-Merwin (144)) har iakttatt, at det nydannede mineral alltid er krystallinsk og til dels sitter på spalter i det gamle. Dette skulde tyde på at det oprinnelige sulfid primært er gått i opløsning, og det kan stemme med at sulfidenes opløselighet synes å være avgjørende for fellingshastigheten. Det har jo også vist sig at mens naturlige fortrengninger av mange av disse mineraler ved sølvglans ikke er sjeldne, er pseudomorfoser bare kjent for ganske få.

Fellingen som metallisk sølv.

Mens sulfidenes felling av sølvsulfid altså lar sig forklare nokså enkelt som en dobbelt omsetning, er det mere innviklet å forklare hvorfor så mange av dem feller også metallisk sølv.

Det er lett for de kiser hvis kation i vandig opløsning er i stand til å redusere sølvopløsninger; eftersom sølvet felles (som sulfid) må jo en tilsvarende del av kationet løses og i opløsningen redusere ut en passende (ekvivalent) mengde sølv. Derfor feller magnetkis, kobberkis, realgar, molybdenglans, markasitt, svovelkis, antimonglans adskillig sølv; mens covellin og lys (d. v. s. jernfattig) sinkblende (mineral nr. 6)) feller bare, eller næsten bare sølvsulfid. Ferrojernrik, mørk sinkblende (mineral nr. 7) feller også en del metallisk sølv. Men det forklarer ikke hvorfor mineraler som vismutglans, milleritt og blyglans også feller adskillig metallisk sølv. Forklaringen er ikke bare at disse mineraler holder reduserende forurensninger. Bortsett fra litt toverdig jern i milleritten, lar sådanne sig nemlig ikke påvise i den tilstrekkelige mengde ved kvalitative analyser. — Merkelig er det også at auripigment *ikke* feller metallisk sølv, til tross for at arsenikkopløsninger reduserer sølvopløsninger ved 130°, som forsøk har vist. Da forklaringen muligens kunde ligge i at sølvsulfatopløsningene reagerer for surt, gjentok jeg forsøket med auripigment og sølvbikarbonatopløsning, men med samme resultat.

For å vise at felling som metallisk sølv virkelig skyldes nærvær av et reduserende kation, var det jeg gjorde forsøk med to sinkblender; den ene (nr. 6) jernfattig (0,70 % jern), den annen (nr. 7) jernrik (3,54 % jern). Den første felte bare ubetydelig metallisk sølv, den annen temmelig meget. At den siste også felte flere ganger så meget sølvsulfid (sammenlign side 22) kan skyldes at gitteret er blitt mere ustabilt på grunn av den større jernmengde, opløseligheten er blitt større (sammenlign også tabell 6, side 27).

Det er flere mulige forklaringer på at de ikke reduserende kiser (vismutglans etc.) feller metallisk sølv. L. Tronstad (127) og L. Tronstad og T. Høverstad (128) har påpekt at optreden av det såkalte Becquerel-fenomen kan være årsaken, eller også dannelsen av „lokalelementer“ på kisenes overflate (smlg. side 54).

Der er en tredje mulighet, nemlig den at sølvionene skulde kunne oksydere sulfidsvovelet til sulfat eller svovelsyre, mens en tilsvarende del av sølvionene reduseres til metallisk sølv. Nogen sådan virkning er visstnok ikke påvist for sølv; derimot kjenner man en, ikke helt analog, reaksjon hos kobber. Det er en kjent sak at man ved å felle kuprisaltopløsninger med svovelvannstoff foruten kuprisulfid også får dannet noget kuprosulfid. H. N. Stokes (114) viste at svovelkis og markasitt ved oplutning til 200° i kuprisaltopløsninger alltid felte to atomer kobber for hvert atom jern som gikk i opløsning, og tilsvarende var kobber eller jern eller begge redusert; svovelkis ophetet med kuprikloridopløsning leverte kuproklorid; kuprisulfid (ikke kuprosulfid) leverte ved 100° med kuprikloridopløsning svovelsyre. E. G. Zies og medarbeidere (144) fant at ved 40°, 100° og 200° reagerer en rekke kiser med svakt sure kobbersulfatopløsninger efter ligningen:

$$a\,MeS + b\,CuSO_4 + c\,H_2O = x\,Cu_2S + y\,MeSO_4 + z\,H_2SO_4\,.$$

Nu vil det i alle tilfeller være vanskelig å forfølge med nogen nøiaktighet dannelsen av sulfater av kiser ved oksydasjon med sølvopløsninger, fordi denne reaksjon vil være helt underordnet den samtidige uundgåelige sølvsulfiddannelse; og fordi det vil være vanskelig å bestemme nøiaktig mengden av eventuelle tungtopløselige sulfater (ved blyglans blysulfat, ved vismutglans basisk vismutsulfat) ved nærvær av store mengder angripelige sulfider (og dertil sulfatet fra sølvsulfat). Sølvnitrat turde jeg ikke bruke. — At sulfatdannelse virkelig skjer, fastslo jeg ved dette forsøk:

0,3 g blyglans (nr. 13) (40—80 mesh), 25 ml destillert vann, 1,0 g sølvacetat (sulfatfritt) og 1 ml eddiksyre (for å hindre for sterk hydrolyse av sølvacetatet) blev ophetet i et almindelig skyterør hvor all luft var fortrengt ved lengere tids gjennemledning av luftfri kuldioksyd. Som kontroll hadde jeg et parallellforsøk, som var helt identisk med hovedforsøket, kun var sølvacetatet erstattet med en ekvivalent mengde natriumacetat (0,81 g). Rørene blev ophetet samtidig i 8½ time til 140—150°. Efter åpning blev innholdet i begge behandlet på samme måte: blysulfatet løst i natriumacetat, sølv felt med saltsyre (bf. naturligvis bare i det ene tilfelle) og bariumklorid tilsatt. I kontrollforsøket kom der først efter en tid en tvilsom blakning av bariumsulfat, i hovedforsøket straks et lite bunnfall.

Nu kunde man innvende mot denne prosess at det dreier sig om en elektrolytisk virkning, en anodisk oksydasjon, enten ved paret sølvsulfid-kis eller ved Becquerelfenomenet. Nu kan imidlertid også sølvsulfid oksyderes av sølvsulfatopløsning til metallisk sølv. Her synes Becquerelfenomenet (d. v. s. konsentrasjonskjeder) helt utelukket, det er bare ett sulfid til stede så et elektrodepar finnes ikke. Her må en oksydasjon ved sølvionet finne sted, vel ved hjelp av lokalelementer. For å vise at der av sølvsulfid med sølvsulfatopløsninger virkelig dannes metallisk sølv, gjorde jeg flere forsøk, med forskjellige prøver av sølvsulfid. Forsøkene lykkedes alltid. Jeg kan nevne et par:

1,00 g finpulverisert, krystallinsk sølvsulfid blev i et rummelig, luftfylt skyterør ophetet med 50 ml sølvsulfatopløsning (av normaliteten 0,0418) i 18 timer til ca. 145°. På grunn av omstendighetene fikk røret stå uåpnet ett år. Da var opløsningens sølvinnhold falt med 10,9 %. I mikroskopet kunde ses en hel del meget små sølvkrystaller.

I et skyterør blev sølvsulfatopløsning felt med et underskudd svovelvannstoff, luften blev fordrevet med luftfri kuldioksyd og røret efter gjensmeltning ophetet først i 14 timer til 154—155°, så i 11 timer til 170°. — Ved å fylle røret på denne måte var jeg sikker på å få et sølvsulfid uten overskudd av sølv eller svovel. — Sulfidet var blitt krystallinsk, og der var dannet nogen få, nokså små sølvkrystaller — dog tydelig synlige ved 90 gangers forstørrelse.

0,1028 g sølvsulfid (40—80 mesh) i 60 ml sølvsulfat (normalitet 0,04706) blev ophetet i 92 timer til 139—140°. Normaliteten var da falt med 2,3 %, svarende til at 7,0 mg sølv var felt av de ca. 305 mg som var til stede i opløsningen. Der var dannet synlige sølvkrystaller, men der var ikke dannet påviselige mengder fri svovelsyre.

Prosessen er for langsom til å kunne forklare dannelsen av metallisk sølv i forsøkene med kiser. Dog er det mulig at den går raskere når sølvopløsningene får virke direkte på et lettere opløselig sulfid. Det er kanskje mulig at sølvopløsninger ved tilstrekkelig lang tids innvirkning på sølvsulfid eller et annet sulfid ved hjelp av denne reaksjon kan oksydere sulfidsvovelet fullstendig til sulfat, slik at sluttproduktet er rent metallisk sølv. Den omstendighet at sølvioner åpenbart ikke oksyderer *opløste* sulfidioner på denne måte, tyder på at nærvær av sulfider som fast fase er nødvendig for at prosessen kan gå, og at derfor eksistensen av lokalelementer på sølvsulfidets overflate er den egentlige årsak til oksydasjonen.

Foruten sulfider har jeg også prøvet en del arsenider, mineraler av arsenkistypen etc. på deres sølvfellende evne (tabell 7, forklaring smlg. tabell 5). Forsøksbetingelser nøiaktig som opgitt for tabell 5.

Tabell 7.

Kis	Sølvopløsningens normalitet	% felt	Anmerkning
Skutteruditt, nr. 16	0,04665	100	Trær
Rammelsbergitt, nr. 23	0,04665	100	Trær
Ullmannitt, nr. 18	0,04665	79,1	Skjell, nåler
Arsenkis, nr. 5	0,04551	54,2	Skjell
Arsenkis, nr. 5	0,04265	50,3	Skjell
Koboltglans, nr. 4	0,04441	10,4	Krystaller, tråder

Der er felt rikelig metallisk sølv, hvilket er lett å forklare ut fra disse mineralers sterke reduserende virkninger (smlg. også side 18). Resultatene stemmer ikke med det av C. Palmer (90) fundne at gruppene —S_2 og —AsS ikke angripes av sølvsulfat.

Ifølge C. Bugge (24) er den viktigste fahlbåndskis magnetkis, i mindre mengde finnes kobberkis og koboltglans og magnetitt og ilmenitt. Kobberkis finnes særlig i Underbergsbåndet. Enkelte steder (Jonsknutskjærpene) finnes litt arsenkis. Kobberglans, broket kobber og blyglans er meget sjeldne. Sinkblende finnes undertiden i litt større mengder. De viktigste uedle ertser på gangene er svovelkis, kobberkis, sinkblende og blyglans (de tre siste har ofte et høit sølvinnhold).

De forsøk jeg ovenfor har beskrevet er gjort med forholdsvis sterke sølvopløsninger i løpet av kort tid. For å få rede på i hvilken grad resultatene lar sig overføre på de naturlige forhold (langvarig innvirkning av tynne opløsninger) har jeg, for nogen av de ovennevnte bånd- og gangkiser, forsøkt å forfølge fellingshastigheten som en funksjon av tiden og av sølvopløsningens konsentrasjon.

Sølvfellingens avhengighet av fellingstiden.

Den del av sølvet som er felt som metallisk sølv sitter for sin største del, eller helt, som krystaller, ujevnt fordelt rundt på kiskornenes overflate, og dekker, selv der hvor det er temmelig meget av dem, bare en liten del av denne. I mellemrummene mellem dem er det et belegg av sølvsulfid, som man av de irisfarver som optrer ved forsøkenes begynnelse kan se er iallfall nogenlunde jevntykt. Efter at det første sulfidbelegg er dannet skulde man vente at fellingshastigheten skulde avta, fordi belegget skulde hindre opløsningen i å komme frem til kisens overflate. F. F. Grout (47) fant også at fellingen avtar med tiden, og tilskriver dette det nydannede belegg.

Hvis dette er tilfelle, skulde diffusjonen av de forskjellige ioner gjennem dette sulfidlag kunde bli den hastighetsbestemmende faktor. Følgende beregning vil vise hvorvidt en diffusjonsprosess kan forklare sølvfellingens avhengighet av ophetningstiden og av konsentrasjonen.

Diffusjonen kan foregå på flere måter. Sølvionene kan fra opløsningen diffundere inn mot sulfidets overflate, og denne diffusjon kan foregå gjennem selve sølvsulfidet — at dette er mulig skal jeg omtale nærmere under trådsølv, side 80. Sulfidets kationer må også trenge ut gjennem sulfidlaget, og da dette ikke for alle kationer kan skje med den nødvendige hastighet gjennem selve sølvsulfidet, må de åpenbart finne sig vei langs spalter og porer i sølvsulfidlaget. Hermed er intet sagt om arten av de reaksjoner som foregår, eller om i hvilken fase (væskefasen eller den faste fase) de skjer. Svovelet må åpenbart flytte sig *noget.* Det er tenkelig at også svovelionene diffunderer ut sammen med kisenes kationer, således at opbyggingen av sølvsulfidlaget skjer på dettes ytterside, mens antakelsen av at sølvionene diffunderer inn til mineralets overflate må ha den konsekvens at opbyggingen skjer på innsiden. Det er dog lite rimelig at svovelionene skulde diffundere slik, idet konsentrasjonen av svovelioner eller kiskationer derved ikke kan bli større enn svarende til kisenes opløselighet i vann.

Forsøkene er gjort på følgende måte: 1,000 g av mineralene (av kornstørrelse 40—80 mesh) er i de tidligere nevnte rør ophetet med 50 ml sølvsulfatopløsning i 20, 6 og 2 timer til 130°. Kalles her den i opløsningen til enhver tid værende sølvmengde (beregnet som metallisk sølv) m, den ved forsøkets (tidens) begynnelse for m_0 og den til enhver tid felte sølvmengde for p, alt målt i milligram, og husker man videre at det tversnitt diffusjonen skjer gjennem er lik mineralets overflate, får man for diffusjonen av sølvioner gjennem sølvsulfidskiktet:

Ifølge Ficks lov er:

$$dp = r \cdot q \cdot \frac{dc}{dl} dt$$

hvor dp er den i tiden dt gjennem flaten q diffunderte mengde når konsentrasjonsfallet er $\frac{dc}{dl}$, og l altså sulfidlagets tykkelse. Konsentrasjonen av sølvioner på sulfidlagets innerside kan her uten merkbar feil settes lik null; måles konsentrasjonen ved m har man konsentrasjonsfallet lik $\frac{dm}{dl}$. Dette er omvendt proporsjonalt med l og direkte proporsjonalt med m. Videre er l proporsjonal med den felte sølvmengde p. Da man til alle forsøk har brukt samme mengde mineral er q lik en konstant for alle forsøk med samme mineral. Innsettes alt dette i uttrykket for Ficks lov, fås $dp = k \cdot \frac{m}{p} dt$ hvor $m = m_0 \div p$. Innsettes dette gir ligningen løst:

$$k = \frac{m_0}{t}\left(ln\,\frac{m_0}{m_0 - p} \div \frac{p}{m_0}\right).$$

Beregningen av diffusjonen av kiskationene ut gjennem sulfidlaget lar sig ikke utføre så enkelt. Benyttes de samme betegnelser som tidligere, og kalles konsentrasjonen av kiskationene utenfor sulfidskiktet (i opløsningen) for c og den tilsvarende konsentrasjon innerst i porene for C, og mengden av opløst (eller omsatt) kis for o, alle målt ved den ekvivalente mengde sølv, gir Ficks lov:

$$do = k\frac{dc}{dl}dt.$$

Her er c og o proporsjonale med p, og $\frac{dc}{dl}$ er lik $\frac{C - c}{l}$. C er ganske ukjent; den er ganske sikkert betydelig større enn c. Den er, da kisene er så meget lettere opløselige enn sølvsulfid, på grunn av den dobbelte omsetning som finner sted ved kisens overflate, voksende med voksende m. Settes den proporsjonal med m (hvilket er en ganske ubevist antakelse) fås, ved innsetning i uttrykket for Ficks lov:

$$dp = k\cdot\frac{dc}{dl}dt = k\frac{C - c}{l}dt = k\frac{mk_1 - pk_2}{p\cdot k_3}dt.$$

Her er tellerens første ledd meget større enn det siste; sløifes dette fås

$$dp = k_4\frac{m}{p}dt = k_4\frac{m_0 - p}{p}dt.$$

Det er det samme uttrykk som tidligere er funnet.

Hvis svovelionenes diffusjon utad er det avgjørende fås som før:

$$dp = rq\frac{dc}{dl}dt = k\cdot\frac{S - s}{l}dt = k_1\frac{S - s}{p}dt.$$

Her er S svovelionkonsentrasjonen innerst, s er svovelionkonsentrasjonen ytterst. Her må s være meget liten på grunn av det store overskudd av sølvioner i opløsningen. Man kan derfor tilnærmet sette $S - s = S$. Da opbyggingen av sulfidlaget her skjer på utsiden, må S være bestemt bare ved kisens opløselighet og diffusjonen ut; da opløsningen aller innerst må antas å være tilnærmet mettet, fås at S må være en konstant. Innsettes dette i ovenstående uttrykk fås

$$pdp = k_1 S dt = k_2 dt$$

$$k_2 = \frac{p^2}{t}.$$

Tabell 8.

Forsøksvarighet 20 timer.

Kis	Sølvopl. normalitet	m_0	p	k
Magnetkis.........	0,04551	246,1	244,1	336
Kobberkis.........	0,04551	246,1	124,7	2,46
Svovelkis	0,04441	240,1	31,9	0,116
Blyglans nr. 13	0,04265	230,6	43,1	0,230
	0,04265	230,6	41,0	0,207
Sinkblende nr. 6...	0.04551	246,1	20,9	0,047
	0,04265	230,6	17,5	0,035

Tabell 9.

Forsøksvarighet 6 timer.

Kis	Sølvopl. normalitet	m_0	p	k
Magnetkis.........	0.04618	249,7	51,3	1,02
Kobberkis.........	0,04618	249,7	62,8	1,59
Blyglans	0,04618	249,7	21,2	0.159
Svovelkis	0,04618	249,7	21,2	0,159
Sinkblende	0,04618	249,7	11,5	0,045

Av utledningen av uttrykket under den forutsetning at sølvdiffusjonen innover alene bestemmer den sølvfellende hastighet følger at alle kiser må felle like fort; fordi det er bare opløsningens sølvionkonsentrasjon som bestemmer diffusjonshastigheten. Utregningen for kiskationenes diffusjon gir en lignende lov, og viser at de forskjellige kiser må kunne felle forskjellig, fordi C åpenbart må være avhengig av kisens opløselighet. — Disse to prosesser kan (og må, hvis skiktet bygges op på sin innside) foregå samtidig. Av uttrykket for fellingens avhengighet av svovelionenes diffusjon utad følger at sølvfellingen må være uavhengig av sølvopløsningenes konsentrasjon.

Resultatet av målingene finnes i tabell 8—10 og en oversikt over de funne verdier av k, beregnet efter uttrykket $k = \frac{m_0}{t}\left(ln\,\frac{m_0}{m_0 - p} - \frac{p}{m_0}\right)$,

Tabell 10.

Forsøksvarighet 2 timer.

Kis	Sølvopl. normalitet	m_0	p	k
Magnetkis	0,04618 0,04697	249,7 253,4	7,7 22,4	0,075 0,527
Kobberkis	0,04697	253,4	50,3	2,88
Svovelkis	0,04697	253,4	9,2	0,085
Sinkblende	0,04697	253,4	8,7	0,079

Tabell 11.

Oversikt over verdiene av k.

Kis	20 timer	6 timer	2 timer
Magnetkis	336	1,0	0,08 0,53
Kobberkis	2,5	1,6	2,9
Svovelkis	0,12	0,16	0,085
Blyglans	0,23 0,21	0,16	-
Sinkblende	0,047 0,035	0,045	0,079

i tabell 11. I fig 3 er kurvene beregnet av uttrykket ved hjelp av middeltallet av de for hvert mineral funne verdier av k.

For de fire siste mineraler fås altså verdier av k som er nogenlunde konstante — iallfall av samme størrelsesorden. k er, som man vil se, i høi grad avhengig av p, en feil i bestemmelsen av denne, selv innenfor forsøksfeilen, vil derfor bevirke en stor variasjon i k. Variasjonene i denne holder sig innenfor en størrelsesorden, og viser ingen regelmessig gang. Derav slutter jeg at diffusjonen i sølvsulfidlaget er medbestemmende for sølvfellingens avhengighet av tiden for disse mineraler (smlg. side 34). Magnetkis forholder sig vesentlig forskjellig fra de andre; k vokser her voldsomt med tiden; tabellene viser da også at for dette mineral vokser den felte sølvmengde

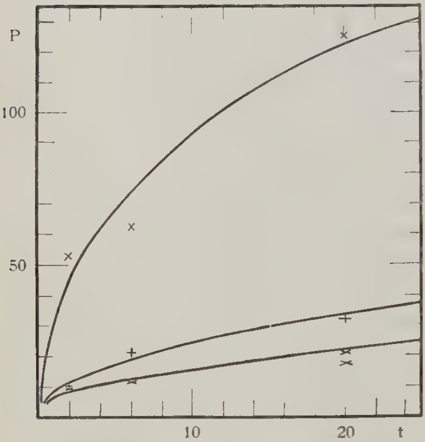


Fig. 3. Kurvene er nedenfra for: sinkblende, svovelkis, kobberkis.

raskere enn proporsjonalt med tiden. Hvordan denne forskjell fra de andre mineraler skal forklares vet jeg ikke. Det kan neppe ligge i volumforholdene. Volumet av den mengde mineral som holder ett gramatom svovel er riktignok større for sølvsulfid enn for nogen av de nevnte fem mineraler, således at det var tenkelig at sølvopløsningene ved å trenge inn på spalter skulde bidra til å sprenge mineralene i stykker og derved forøke deres reagerende overflate; men hvorfor denne virkning skulde være større for magnetkis enn for de andre (f. eks. enn for svovelkis, som har et ennu mindre sådant volum) er ikke klart. Forklaringen er kanskje at der hos magnetkis ikke dannes et helt sammenhengende sølvsulfidlag, men at der i steden skjer en ujevn optæring av kisen med en øking av dennes reagerende overflate som resultat.

Ovenstående resultat kan for de fire mineralers vedkommende benyttes til en beregning av hvorledes fellingen vil være avhengig av tiden ved lengere tids ophetning i en sølvopløsning av *konstant* konsentrasjon. Ved å benytte de samme betegnelser som tidligere får man på samme måte, ved å regne med sølvionenes diffusjon, $dp = k\frac{m_0}{p}dt$ hvor konstanten k er den samme som før, og hvor nu også m_0 er en konstant; ligningen gir derfor løst; $\frac{1}{2}p^2 = k m_0 t$ hvor altså t er timer, p er den på 1,000 g mineral (av kornstørrelsen 40—80 mesh) felte sølvmengde og m_0 er antall milligram sølv pr. 50 ml opløsning.

Ved hjelp av de utmålte kornstørrelser, mineralenes spesifikke vekter og ved videre å innføre visse forenklende forutsetninger om kornenes form kan man beregne at 1 g mineral svarer til en overflate på 12—15 cm^2. Derav lar sig beregne at kobberkis, med konstanten lik 2,3, av en opløsning med 250 mg sølv pr. 50 ml efter 1000 døgn vil ha felt ut et sølvsulfidlag på bare 0,30 mm tykkelse, og dette lag vil i løpet av de næste 1000 timer tilta med 0,006 mm, mens det lag man får i de første 20 timer (som i forsøkene) er på 0,0089 mm, og på den første time 0,0020 mm. Prosessen blir altså, selv for et så kraftig fellende mineral som kobberkis, efter nogen tid en meget langsom. En fullstendig fortrengning av ennu større korn av f. eks. sinkblende ved ennu tynnere sølvopløsninger må derfor ta overordentlig lang tid hvis den virkelig skal foregå på denne måte. Anderledes vil det naturligvis være hvis disse mineraler løses aktivt av en opløsning som samtidig avsetter sølvsulfid; men da vil jo disse mineraler egentlig ikke ha noget å gjøre med selve sølvfellingen.

Magnetkis forholder sig altså helt anderledes, idet den sølvfellende virkning, i stedet for å bli næsten umerkbar med tiden snarere synes å vokse. Som sølvfellende mineral i naturen skulde man derfor først og fremst vente å finne denne; og på Kongsberg skulde man, hvis fahlbåndskisen har virket kjemisk fellende, vente å finne båndenes magnetkis omgitt av en hinne av sølvsulfid. Det er aldri iakttatt.

Sølvfellingens avhengighet av opløsningenes konsentrasjon.

Forsøkene er gjort som følger: 0,500 g mineral av kornstørrelsen 40—80 mesh er ophetet i 6 timer til 130° i 50 ml sølvopløsning av varierende konsentrasjon. Da det viste sig at kisenes reaksjon i kulden med de til dels temmelig tynne opløsninger kunde gi en merkbar feil, er rørene ophetet så snart som mulig efter gjensmelting og opløsningene igjen analysert så snart som mulig efter avkjøling. Resultatene ses av tabellene 12—15 og figurene 4—6. For magnetkisens vedkommende falt resultatene så ujevnt ut at jeg for dette mineral gjentok forsøkene med opløsninger av nogenlunde samme konsentrasjon som de først benyttede, og da med noget avvikende resultater. Hvorfor magnetkis gir så lite konstante resultater vet jeg ikke; ikke bare her, men også ved de fleste andre forsøk med dette mineral er det langt vanskeligere enn for de andre å få parallellforsøk til å stemme overens.

De ovennevnte forsøk over fellingens tidsavhengighet har vist at iallfall for nogen kiser lar det hele sig beregne som en diffusjonsprosess. Det kunde derfor være hensiktsmessig å se om en sådan beregning også kunde føre frem her.

Regningen blir den samme som tidligere, og man kommer frem til de samme uttrykk. For å vise i hvilken grad forsøkene stemmer

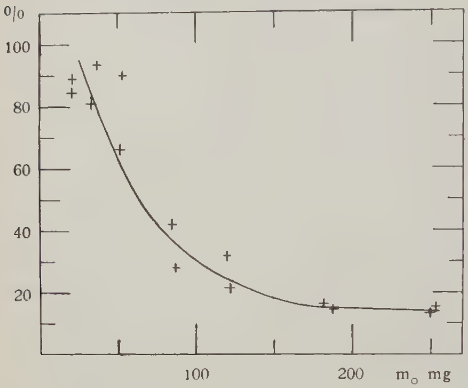


Fig. 4. Magnetkis.

med regningen har jeg i den grafiske fremstilling av sammenhengen mellem m_0 og p tegnet inn kurver beregnet efter uttrykket $k = \frac{m_0}{t}\left(ln\,\frac{m_0}{m_0 \div p} \div \frac{p}{m_0}\right)$ som er det som best stemmer med forsøkene. Kurvene er beregnet ved hjelp av verdier av k som er valgt avrundet men slik at kurvene kommer til å ligge nær op til de funne verdier for et mineral — de er altså ikke beregnet ved hjelp av middelverdier av de verdier av k som ett og samme mineral har gitt i de forskjellige forsøk. Man vil se at fellingen avtar meget mindre med fallende konsentrasjon enn formlen krever. For magnetkis er p relativt lite variabel.

Denne overensstemmelse med beregningen, og den omstendighet at de forskjellige mineraler feller med forskjellig hastighet, men slik at forholdet mellem deres fellingshastigheter er meget mindre enn forholdet mellem deres opløseligheter, kan tyde på at det er den samtidige diffusjon av sølvioner innover og kisenes kationer utover som bestemmer fellingsevnen. En diffusjon av svovelioner kan ikke forklare avhengigheten av konsentrasjonen, og en beregning viser at diffusjon i væsken utenfor kisen (f. eks. av sølvioner eftersom væsken omkring kiskornene utarmes på sølv) ikke engang tilnærmet kan forklare det faktiske kurveforløp — dessuten vil denne, hjulpet av konveksjoner, være en altfor rask prosess.

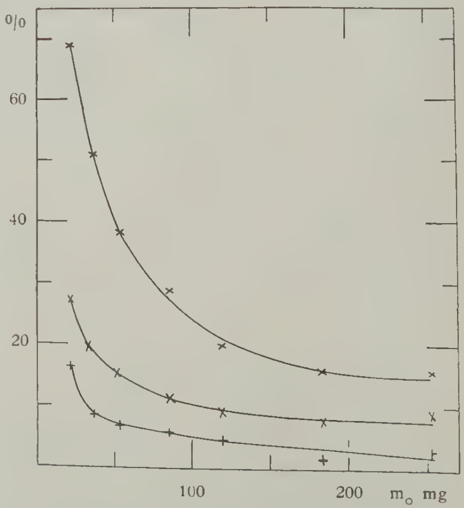


Fig. 5. Kurvene er nedenfra for: lys sinkblende, mørk sinkblende, kobberkis.

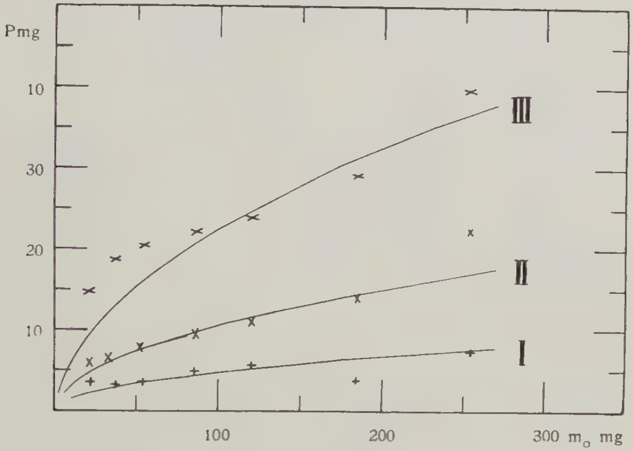


Fig. 6.

I. Lys sinkblende. Inntegnet den beregnede kurve for $k = 0{,}02$.
II. Mørk sinkblende. Inntegnet den beregnede kurve for $k = 0{,}1$.
III. Kobberkis. Inntegnet den beregnede kurve for $k = 0{,}5$.

Uansett hvad forklaringen er, viser forsøkene at sølvfellingen ikke er proporsjonal med opløsningenes konsentrasjon, men avtar betydelig langsommere enn denne, og at i meget tynne sølvopløsninger vil ved lang tids innvirkning magnetkis være langt den beste sølvfeller av de undersøkte mineraler.

Tabell 12.

Mørk, jernrik sinkblende (nr. 7).

Sølvopl. normal.tet	m_0	p	% felt	k
0,04697	253,4	22,7	9,0	0,18
0,03405	183,7	14,0	7,7	0,094
0,02233	120,3	11,1	9,2	0,091
0,01592	85,9	9,6	11,2	0,095
0,00961	51,8	7,9	15,2	0,11
0,00613	33,1	6,5	19,5	0,12
0,00401	21,6	5,9	27,2	0,11

Tabell 13.

Lys jernfattig sinkblende (nr. 6).

Sølvopl. normalitet	m_0	p	% felt	k
0,04697	253,4	7,4	2,9	0,018
0,03405	183,7	3,0	1,6	0,004
0,02233	120,3	5,7	4,7	0,018
0,01592	85,9	4,9	5,7	0,024
0,00979	53,9	3,6	6,7	0,021
0,00682	36,8	3,2	8,6	0,024
0,00394	21,3	3,5	16,2	0,053

Tabell 14.

Kobberkis.

Sølvopl. normalitet	m_0	p	% felt	k
0,04697	253,4	39,7	15,7	0,58
0,03405	183,7	29,2	15.9	0,45
0,02233	120,3	24,0	19.9	0,44
0,01592	85,9	22,2	25,8	0,58
0,00979	53,9	20,5	38,1	0,89
0,00682	36,8	18,7	50,7	1,23
0,00394	21,3	14,7	68,9	1,66

Tabell 15.

Magnetkis.

Sølvopl. normalitet	m_0	p	% felt	k
0,04697	253.4	38,9	15,4	0,56
0,04618	249.1	33,6	13,5	0,42
0,03480	187,7	27,7	14,7	0,38
0,03360	181,2	29,7	16,4	0,34
0,02271	122,5	26,4	21,6	0,56
0,02218	119,8	38,2	31,9	1 30
0,01612	87,0	24,1	27,7	0,69
0,01581	85,3	36,0	42,1	1,79
0,00979	52,8	48,3	89,9	22,4
0,00961	51,9	34,5	66,3	3,70
0,00682	36,8	34,3	93,2	10,8
0,00613	33,1	26,8	81,0	4,7
0,00401	21,6	19,3	89,0	4,7
0,00394	21,2	17,9	84,5	3,7

B. Rene kisers reaksjon med sølvopløsninger som er tilsatt et annet tungt metall.

Hvis sølvopløsningen foruten sølv inneholder et annet tungt metall (og det må man i naturen anta den har gjort) må man vente at sølvfellingen delvis modifiseres. Selv om dette annet element danner et sulfid som er tyngre opløselig enn den anvendte kis, kan man neppe vente å få dannet et sulfidovertrekk som består av annet enn sølvsulfid så lenge det er sølv igjen i opløsningen. Det fremgår av de side 10 og side 25 nevnte forsøk med fraksjonert felling av sulfider. Derimot kan kisenes elektriske egenskaper tenkes å modifiseres. G. Tammann (123) har vist at de potentialer mineralene (kiser og silikater) viser mot vann for en stor del skyldes at mineralenes overflate er ladet med fremmede ioner — først og fremst vannstoffioner — og at det er meget vanskelig å skaffe sig helt friske overflater av naturlige mineraler. Målingene av de potentialer kisene viser mot rent vann eller saltopløsninger er gjort flere ganger (46, 110), men resultatene må altså anvendes med stor forsiktighet. Dog kan man forutse at en tilsetning av et tungmetallsalt til en sølvopløsning på grunn av denne adsorpsjon vil polarisere kisene og derved modifisere den innflytelse kisenes elektriske egenskaper har på sølvfellingens — f. eks. ved dannelsen av lokalelementer. Hertil kan komme en virkning, spesifikk for hvert element. Således reduseres nogen elementer av kiser (på grunn av disses svovelinnhold) i vandig opløsning ned til et lavere oksydasjonstrin. Hvis elementet i denne lavereverdige form er i stand til å redusere ut metallisk sølv av sølvopløsning, og kisen reduserer det raskere enn den feller sølv, vilde dette bety en påskynding av sølvfellingen, og at sølvet isteden for å felles vesentlig som sulfid vilde felles metallisk. De få forsøk jeg har gjort med reduksjon av jern og arsen (se side 27) viser imidlertid at denne prosess er langsommere en sølvfellingen, og derfor ikke kan spille nogen større rolle.

Jeg har gjort forsøk med kobber og antimon. Til hvert forsøk anvendte jeg 1,000 g mineral (40—80 mesh), 25 ml sølvsulfatopløsning og 25 ml av en opløsning som var 0,04 molar med hensyn på kobbersulfat, resp. kaliumantimonyltartrat. Rørene blev ophetet i 20 timer til 130°. Tabell 16 og 17. Til sammenligning henviser jeg til de tidligere tabeller. Sølvopl. normalitet 0,04265.

Tabell 16.

Sølvfelling av kobberholdige opløsninger.

Kis	Felt % sølv	Anmerkning
Magnetkis...........	100	Store trær
Covellin (syntetisk)...	100	Intet sølv
Kobberkis...........	100	Trær, nåler
Auripigment	100	Intet sølv
Arsenkis............	87,4	Skjell
(Vismutglans)........	(51,8)	(En del sølv. Bare 0,289 g mineral)
Sinkblende, nr. 7.....	55,3	Litt krystaller
Blyglans, nr. 13......	29,6	Litt krystaller
Svovelkis	27,9	Kompakte krystaller
Antimonglans........	12,6	Tråder
Sinkblende, nr. 6	8,7	Ganske lite krystaller

Det metalliske sølvs utseende har forandret sig hos kobberkis og magnetkis. Fellingen er påskyndet hos auripigment og sinket noget hos antimonglans og sinkblende. Effektene er ikke betydelige. Også C. Palmer og E. S. Bastin (91) viste at en tilsetning av kobbersulfat (eller sinksulfat) var uten innflytelse. En spesiell virkning hos kobber skulde være at det gav anledning til dannelsen av forholdsvis mere metallisk sølv — hvilket ikke lar sig påvise sikkert i disse forsøk, fordi man ikke kjenner nogen metode til å skille sølv og sølvsulfid her. Der må nemlig dannes en del ioner av enverdig kobber. For det første felles jo kobber av kiser alltid i enverdig form (se side 28), og for det annet reduseres kobber av metallisk sølv også til enverdig (se side 64). Virkningen herav kan vises på denne måte: sølvsulfid ophetet i sølvsulfat leverer (se side 30) bare ganske lite metallisk sølv, mens der ved tilsetning av kobbersulfat til sølvopløsningen i løpet av kortere tid dannes betydelig mere.

Da man ikke kan holde sølv og antimon opløst sammen i nøitral vandig opløsning uten videre, har jeg ved forsøkene med antimon måttet ty til det kunstgrep å anvende brekkvinsten. Forholdene blir derved ikke akkurat så like de naturlige, men resultatene er allikevel såpass interessante at jeg tar dem med her. Blandingen av antimonyl-kalium-tartrat og sølvsulfat utskiller ved ophetingen en del klare krystaller som er en sølvforbindelse — i en blindprøve feltes derved 54,9 % av sølvet. Tallene i tabell 17 er derfor ikke et mål for den felte sølvmengde, men jeg fører dem op allikevel, fordi de viser at i nogen tilfelle er det felt betydelig mindre sølv enn det felles under de samme betingelser av antimonfri opløsninger. Merkelig er det her at over alt hvor metallisk sølv er dannet, er det i form av tråder, overordentlig lignende det naturlige trådsølv. Jeg skal senere komme tilbake til dette (side 89 ff.).

Tabell 17.

Sølvfelling av antimonholdige opløsninger.

Kis	Felt % sølv	Anmerkning
Sinkblende, nr. 6	8,1	Litt tråder
Svovelkis	5,4	Intet sølv
Blyglans, nr. 13	34,4	En del små tråder
Covellin	100	Intet sølv
Auripigment	60,4	Intet sølv
Kobberglans	96,5	Intet sølv
Magnetkis...........	58,6	Nøster av fine tråder
Antimonglans........	38,0	Intet sølv
Sølvglans	39,5	Litt tråder
Kobberkis...........	67,4	Masser av trådbundter

I enkelte av forsøkene kan kiskornene være helt lodne av sølvtråder som synes å vokse ut av overflaten, og som lett brekker av ved basis. Svovelkis og magnetkis har utskilt meget mindre sølv enn de pleier å gjøre, og hindres altså i sin sølvfellende virkning av antimon. Svovelkis, kobberglans og antimonglans har her ikke dannet det minste synlig metallisk sølv, hvilket de ellers gjør. Påfallende er det at antimonglans (altså antimonsulfidet) som i ren sølvopløsning danner adskillig trådsølv, ved tilsetning av antimon til opløsningen ikke mere gjør dette. — Selv det lille sølv som er dannet av sølvglans og sølvsulfat foreligger her som små tråder.

Sølvopløsningers reaksjon med oksyder.

Som almindelige bergartsdannende mineraler (oftest aksessoriske) forekommer, også i båndbergartene på Kongsberg, magnetitt og ilmenitt. På grunn av sitt ferrojerninnhold måtte de kunne redusere sølvopløsninger. Forsøk bekreftet dette: (Tabell 18; sølvopløsningens normalitet 0,04551, 1,000 g mineral (40—80 mesh), 50 ml opløsning, 20 timer, 130°).

Tabell 18.

Mineral	Sølv felt %	Sølv felt milligram	Anmerkning
Ilmenitt	6,8	19,0	Tallrike, m. små sølvkrystaller.
Magnetitt	6,6	18,3	På de fleste mineralkorn overtrekk av m. fine sølvkrystaller.

Ilmenitt fra Blåfjell, Soggendal.

Magnetitt fra Arendals jerngruber. Efter knusing renset ved magnetisk separasjon.

Virkningen er altså ikke ubetydelig. Det er (motsatt tilfellet hos kiser) ingen grunn til å anta at virkningen skal avta raskt med tiden, eller hindres av andre ioner i opløsningen. Dette har jeg dog ikke gjort prøver på.

Sølvopløsningers reaksjon med silikater.

Mellem 90 og 100% av sidestensbergartenes masse er silikater, hvorfor det kunde være av interesse å fastslå hvorvidt og hvor raskt disse er i stand til å felle sølv av opløsninger. Man kunde tenke sig at de kunde fjerne sølv av sølvopløsninger ved iallfall fire forskjellige prosesser:

1: Sølvionene adsorberes av silikatpartiklene.

2: Sølvet felles ut som metallisk sølv, fordi silikatet inneholder et reduksjonsmiddel for sølvioner, nemlig toverdig jern.

3: Sølvet felles som oksyd — naturligvis bare av tilstrekkelig konsentrerte opløsninger.

4: Silikatet utbytter en del av sine kationer mot sølvioner, slik at det dannes sølvsilikat, mens en ekvivalent mengde av silikatets kationer (f. eks. kalium) går i opløsning.

Jeg skal ikke gå nærmere inn på dette her. For å bringe på det rene hvorvidt en eller flere av disse reaksjoner har spillet nogen rolle, og i tilfelle hvor raske reaksjonene er sammenlignet med de tidligere nevnte, måtte man nemlig gå frem på en helt annen måte enn i de tidligere nevnte forsøk. Jeg har gjort adskillige forsøk på forskjellige måter, men de strandet alle på at silikatenes hydrolyse, som kan være meget merkbar ved almindelig temperatur (121), ved 130° er så kraftig at fellingen som sølvoksyd fullstendig dekker alle andre fenomener; sølvoksydet ligger for en stor del på spalter i mineralkornenes indre. Og fellingen av sølvoksyd er den eneste av de nevnte fire reaksjoner som sikkert *ikke* har spillet nogen rolle i naturen.

Ad 1: C. W. Correns (33) har gjort inngående forsøk med adsorbsjon av kobber og bly på sand, kaolin og (forsøksvis) kalkspat, og rekapitulerer dessuten en del av de resultater andre er kommet til. Han finner at selv av *meget* tynne opløsninger er adsorbsjon til kaolin merkbar, og kan føre til kobberinnhold i kaolinen på optil 0,83 %; ved lang tids (over 24 timer) innvirkning begynner en reaksjon mellem mineralet og det adsorberte. Sølv adsorberes sterkere enn disse to metaller og langt sterkere enn alkali- og jordalkalimetaller; hvorfor adsorbsjon av tunge metaller av saltopløsninger (som sjøvann) vel vil være noget, men ikke meget, svakere enn i rent vann. — Efter dette skulde man tro at en sølvfelling ved adsorbsjon i sidestensbergartene på Kongsberg vesentlig skulde være avhengig av i hvor høi grad sølvopløsningene har kunnet gjennemtrenge sidestenen.

Ad 2: I mine forsøk med silikater og sølvopløsninger ved 130° har mange av de sterkt ferroholdige silikater (biotitt, olivin, broncitt, hypersthen) felt adskillig metallisk sølv, uten at jeg har kunnet finne at der er nogen sammenheng mellem den metallisk felte sølvmengde og ferroinnholdet (som jeg bestemte) og hårdheten. Om denne sølvfelling skyldes det toverdige jern som går i opløsning på grunn av silikatenes hydrolyse i den svakt sure sølvsulfatopløsning, eller om den også vilde skje i helt nøitral eller alkalisk opløsning, er uvisst. E. C. Sullivan (121) fremhever som et bemerkelsesverdig resultat av sine meget nøiaktige forsøk at jernet i ferrosilikater ikke finnes i opløsning istedetfor kobber efter at dette siste er felt ved silikater. På den annen side sitter i mine forsøk det dannede sølv alltid festet fast på mineralkornene. — C. A. Münster (82) nevner et forsøk som viser at man også ved almindelig temperatur kan få dannet sølv slik: Et større stykke av en næsten sort hornblendeskifer blev kløvet på midten og en sølvkarbonatopløsning fikk cirkulere gjennem spalten. Efter et par uker var det dannet nogen få tynne sølvskjell.

Ad 4: Det er omstridt i hvilken grad en sådan prosess kan gå. Sullivan (loc. cit.) undersøkte reaksjonen ved almindelig temperatur med en rekke mineraler og opløsninger og fant at i mange tilfelle synes der virkelig å være en baseutbytning. Correns (loc. cit.) hevder imidlertid at Sullivans resultater like godt kan forklares ved adsorbsjon.

Jeg hadde håpet å kunne vise at også silikatene har en merkbar evne til å felle sølv av opløsninger. Hvis de det hadde, vilde det jo været merkelig at sølvet på Kongsberg vesentlig var begrenset til de kisholdige bånd — hvis sidestenen da overhodet har virket kjemisk fellende. Imidlertid må silikatenes forhold overfor sølvopløsninger, som nevnt, åpenbart undersøkes efter ganske andre metoder. Jeg skal derfor her ikke trekke nogensomhelst konklusjoner av ovenstående.

Den omstendighet at fahlbåndsmineralene, iflg. C. A. Münsters analyser (82) ikke har noget sølvinnhold større enn det som er vanlig i alle bergarter synes å vise at silikatene ikke har felt noget sølv. Dette behøver dog ikke bety at de ikke *kan* felle sølv, men bare at de ikke har hatt anledning til å gjøre det.

Ekstraksjon av kisenes svovelinnhold.

Foruten å anta at sølvet er felt ved direkte kontakt ved båndenes mineraler, kunde man også tenke sig den mulighet at sølvopløsningene var i stand til å ekstrahere ett eller annet av båndene; særlig måtte man da tenke på sulfidsvovelet, og at disse ekstrakter efterpå har bevirket sølvfellingen på gangene. Er nu en sådan opløsning av kisenes svovelinnhold, enten ved svakt sure (kulsure) eller alkaliske (alkalikarbonatholdige) væsker mulig?

Sure opløsninger. En sådan tanke er J. H. L. Vogt (133) inne på: opløsningene skulde på grunn av sitt innhold av fri kulsyre ha utviklet svovelvannstoff av kisene, ikke raskt, men langsomt og sparsomt, således at bare sølv skulde være felt av opløsningene, som kunde ha holdt også andre tunge metaller. Men er nu den svake kulsyre overhodet i stand til å utvikle svovelvannstoff av kisene, eller i stand til å lette sølvfellingen ved disse? Vogt angir ingen forsøk som tyder på dette. Nu er det ikke lett å gjøre kvantitative forsøk med kulsyre, og de forsøk som her er gjort er derfor utført med sterkere og mindre flyktige syrer. Jeg kan nevne:

R. C. Wells (36) behandlet kiser (med kjent overflate) ved almindelig temperatur med 0,1 normal svovelsyre og fant at de derved leverte svovelvannstoff; avtakende i rekken magnetkis, sinkblende, blyglans; tvilsomt for svovelkis og kobberkis. G. S. Nishihara (86) behandlet mineralene ved almindelig temperatur i optil tre måneder med $^1/_8$-normal svovelsyre og fant at magnetkis, sinkblende, blyglans og noget markasitt, også svovelkis og alabandin utviklet svovelvannstoff.

F. Rosenkränzer (101) gjorde inngående forsøk med nogen sinkblender og en blyglans i svovelsyrer av prosentinnholdene 1,25, 0,125 og 0,0125 uten lufttilgang under omrysting ved forskjellige temperaturer. Han viste derved at: den utviklede svovelvannstoffmengde er direkte proporsjonal med tiden, med syrens konsentrasjon, med overflaten (d. v. s. omvendt proporsjonal med kvadratet av kornstørrelsen) og med den anvendte vekstmengde mineral; stigende med temperaturen.

Dette viser at også den svakere syre kulsyre muligens kan utvikle svovelvannstoff. Men vil dette bevirke nogen påskynding av sølvfellingen? Kvantitative forsøk av F. F. Grout (47, 48) med kobbersulfat og sølvsulfat tilsatt svovelsyre tyder ikke på det. E. G. Zies og medarbeidere (144) iakttok ved sine forsøk med felling av kobbersulfat at virkningen ved svovelkis og kobberkis retarderes, mens den påskyndes ved blyglans, sinkblende, magnetkis og bornitt. C. Palmer og E. S. Bastin (91) fant at tilsetning av natriumbisulfat ikke hadde nogen innflytelse på kisenes felling av sølv.

Jeg gjorde nogen forsøk med magnetkis og sinkblende (nr. 6). (Tabell 19 og 20) 0,500 g mineral blev ophetet i en blanding av sølvsulfatopløsning (25 ml) og svovelsyre (25 ml) av normalitetene 0,1; 0,01; 0,001 og rent vann. Rørene med magnetkis blev ophetet til 130°, en gang i 4 timer og i en annen serie i 3 timer. Rørene med sinkblende blev ophetet i 44 timer til 100°. Tabellen viser at svovelsyre nedsetter sinkblendens fellingshastighet for sølv, mens virkningen hos magnetkis er mere uregelmessig. Sølvopl. normalitet 0,04665.

Selv et stort innhold av fri syre bevirker altså ikke nogen nevneverdig sterkere felling.

Alkaliske opløsninger. Det har været meget omstridt hvorvidt sulfider løses i alkalier eller ikke. Dette synes iallfall delvis å henge sammen med at man ikke har holdt klart fra hverandre almindelig molekylær opløsning og kolloid opløsning. F. F. Grout (47) fant at selv i kulden danner mange sulfider (svovelkis, sink- og kobbersulfidene) med alkalier alkalisulfidopløsninger. L. G. Ravicz (97) fant at svovelkis og særlig magnetkis med enprosentig soda i løpet av nogen uker utvikler litt alkalisulfid, idet en sølvstrimmel i væsken blev lett sværtet. Av sølvertsene var der ingen som ved langvarig behandling

Tabell 19. *Sinkblende.*

Svovelsyrens normalitet	Felt % sølv
0,1	1,1
0,01	2,0
0,001	Eksplodert
0	2,9

Tabell 20. *Magnetkis.*

Svovelsyrens normalitet	Felt % sølv
4 timer	
0,1	17,2
0,01	30,6
0,001	14,8
0	15,0
3 timer	
0,1	15,9
0,01	34,5
0,001	11,1
0	12,0

leverte det minste spor sølv i opløsning, mens sulfosaltene naturligvis leverer adskillig arsen- eller antimonsulfid i opløsning. J. W. Gruner (49) fant at i halvprosentig natriumsulfid er ved 200 og 300° sulfidene ikke påviselig opløselige (naturligvis bortsett fra sulfidene av arsen, antimon og kvikksølv). F. Foreman (40) fant at kobberglans, svovelkis og magnetkis ved temperaturer fra 100 til 350° ikke løses påviselig i vann, natriumbikarbonatopløsning eller natriumsulfidopløsning (0,1 til 3,0-normale). Deres opløselighet nedsettes av svovelvannstoff (det motsatte har undertiden været anført). R. E. Stevens (112) viste at svovelkis med natriumsulfid leverer natriumpolysulfid og magnetkis; natriumpolysulfidet holder litt av sulfidene i kolloidal opløsning. Kolloidet felles imidlertid lett av små saltmengder (0,021 ml klornatrium, 0,0016 ml bariumklorid pr. liter). Det er polysulfidet som virker peptiserende. R. F. Weinland og L. Storz (138) opdaget en eiendommelig virkning av treverdig arsen i alkaliske opløsninger. De beviste at:

$$2\,CuS + Na_3AsO_3 = Cu_2S + Na_3AsSO_3.$$

Markasitt og svovelkis avgir bare meget lite svovel slik, svovelkis bare spor. En natriumarsenittopløsning som er behandlet med magnetkis gir efterpå ved behandling med saltsyre et bunnfall av arsentrisulfid. Sulfidene av sink, kadmium, bly, vismut og kvikksølv forandres ikke ved behandlingen.

Jeg gjorde følgende forsøk: 0,500 g av forskjellige kiser (kornstørrelse mindre enn 80 mesh) blev ophetet i 50 ml 0,100-normal sodaopløsning i 15 timer til 130°. Rørene var fullstendig evakuert. For å holde rørene fullstendig fri for polysulfider var der i hvert av dem anbragt en sølvtråd; selv en svak polysulfiddannelse vil gi sig tilkjenne ved at tråden sværtes. Foruten de tidligere nevnte mineraler blev der anvendt en magnetkis fra en sølvførende gang på Kongsberg, og en magnetkis fra Kongens grubes fahlbånd, utvunnet av bergarten ved magnetisk separasjon. Opløsningene blev prøvet på svovel med blyacetat og med nitroprussidnatrium. Resultatene finnes i tabell 21.

Tabell 21.

Kis	Sølvtrådens		Svovelion-normalitet
	farve	vektforøkelse i milligram	
Sinkblende, nr. 6	Hvit	0	Intet svovel
Kobberkis	Lys grå	0	Intet svovel
Blyglans, nr. 13	Næsten hvit	0	Intet svovel
Svovelkis	Lys grå	0	Intet svovel
Magnetkis, nr. 3	Gråsvart	0,6	0,0009
Magnetkis fra bånd	Gråsvart	0,1	0,0012
Magnetkis fra gang	Gråsvart	0,3	0,0039

Opløsningene var i alle tilfelle fullstendig farveløse.

Av alt dette fremgår: den viktigste fahlbåndkis, magnetkis, er den eneste av de undersøkte mineraler som under disse betingelser kan levere større mengder svovel i opløsning. Den av Weinland og Storz funne effekt kan neppe ha været virksom på Kongsberg, da covellin der ikke spiller nogen rolle, og den effekt de fant for magnetkis kanskje like meget kan skyldes alkaliarsenittens alkaliske reaksjon som dens arseninnhold.

Det vilde være eiendommelig om de samme opløsninger som har avsatt magnetkis på gangene, magnetkis som faktisk kan avgi en del av sitt svovelinnhold til alkaliske opløsninger, skulde kunne ekstrahere sulfidioner av magnetkis i båndene. Det kan tyde på at opløsningene, iallfall i den periode da gangenes magnetkis blev avsatt, ikke var i stand til å ekstrahere noget svovel fra sidestenen, men da må man se sig om efter en annen kilde til gangkisenes svovel. Og det er visstnok ingen grunn til å anta at gangenes kiser skulde ha fått sitt svovelinnhold fra nogen annen kilde enn sølvsulfidet har fått sitt fra.

Den omstendighet at det av soda ekstraherte svovel delvis foreligger som polysulfid tyder på at det er magnetkisens svovel*overskudd* som løses.

Jeg gjør opmerksom på at det sølv som er felt av svovelsyreholdige sølvsulfatopløsninger sitter festet som sulfid på kiskornenes overflate på samme måte som det av nøitrale opløsninger felte. Man kan vanskelig gjøre forsøk med sølvfelling av alkaliske opløsninger, fordi sølvoksydets opløselighet i vann er for liten; men det ovenfor nevnte om at sølvsulfid ikke løses i alkali eller alkalisulfidopløsninger mere enn i vann må forhindre at det kan vandre langt, således at det må felles ut på den kis hvorfra svovelet stammer.

Dog har fra forskjellig hold den tanke været fremsatt at sølvsulfidet skulde kunne foreta en vandring efter sin dannelse, som kolloid. Teorien er tiltalende fordi man derved undgår den store vanskelighet som de fleste teorier om sølvfellingen støter på, nemlig at sølvet ikke befinner sig i fahlbåndene selv, men i gangene, tiltross for at det er fahlbåndskisen som skulde ha felt sølvet ut. Dette skulde den ha gjort, enten fordi den har virket som elektroder, eller fordi fahlbåndsmagnetkisen skulde ha frembragt magnetiske felter.

Nu er kolloide sølvsulfidopløsninger ikke meget bestandige; men når de først er dannet har de jo en viss levetid. Er der nu nogen chanse for at slike kolloide opløsninger kan dannes under forhold som de må ha været på Kongsberg, og vil de under de givne forhold ha en så lang levetid at sølvet i denne form kan foreta nogen større vandringer?

Ved mine forsøk med kisers innvirkning på sølvopløsninger har jeg aldri kunnet iaktta dannelsen av kolloid sølvsulfid. Derimot kunde kanskje kolloider dannes ved sammentreff av en sølvopløsning med en sulfidholdig opløsning. Betingelsen for at sulfidkolloider skal være stabile er at der er et visst antall peptiserende ioner, svovelvannstoff eller alkalisulfid (smlg. S. W. Young og N. P. Moore (143)). Videre er det nødvendig at konsentrasjonen av andre ioner er under en viss „terskelverdi". J. D. Clark og P. L. Menaul (28) behandlet en lang rekke sulfider i 0,01-normal kalilut som de av og til ledet svovelvannstoff gjennem. Av de fleste sulfider var efter 7 dager temmelig store mengder gått i opløsning, men sølvglans (og proustitt) var overhodet ikke opløst. Nærvær av et stykke kalkspat var tilstrekkelig til å sinke den kolloide opløsning betraktelig, dessuten slo det dannede kolloid sig for en stor del ned på spaten igjen. Nu er hovedmineralet på Kongsberggangene kalkspat, og opløsningene har rimeligvis holdt adskillig salter i opløsning (smlg. side 14). Derimot kan den nødvendige mengde peptiserende sulfidioner ha været til stede. Chansen for at kolloider skulde dannes synes derfor liten. Heller ikke er det rimelig at de har kunnet holde sig lenge. Vel kjenner man meget lite til de kolloide opløsningers stabilitetsforhold ved de høie temperaturer det her dreier sig om. Ved almindelig temperatur kan en slik opløsning under gunstige betingelser holde sig i årevis. Imidlertid har det vist sig at selv små mengder antimon i opløsning bringer sølvsulfid til å omkrystallisere (se side 89), og det vil jo gjøre et kolloid betydelig ubestandigere — antimon har jo, som analysene av sølvmineralene viser, været til stede i de sølvavsettende opløsninger.

Et kolloids bestandighet vil også være avhengig av gangmineralene. Det må felles av ethvert stoff hvis elektrokinetiske potential er det motsatte av dets eget. Nu kjenner man ingen lovmessig sammenheng mellem stoffenes kjemiske sammensetning og deres elektrokinetiske potential; dette gjelder f. eks. for silikater. Derimot er det en kjent sak at sulfider lader sig negative, de går jo også i kolloid opløsning alleroftest med negativ ladning (som de får fra det peptiserende svovelion). Man måtte vente at opløsninger som var i stand til å meddele sølvsulfid en ladning så det kunde holde sig i kolloid opløsning også måtte gi de andre sulfider samme ladning. Man må derfor kunne anta at et sulfid, som f. eks. kisen i båndene, bare skulde ha en ubetydelig fellende virkning på sølvsulfidsoler. Forsøk som jeg gjorde med tilsetning av kispulvere (av en rekke kiser) til kolloide sølvsulfidopløsninger viste da også at det varer mange timer til måneder før solen er utflokket. — W. M. Gortikow og N. P. Malinowskaja (45) har vist at de på uorganisk vei i naturen dannede former av kalciumkarbonat har et positivt elektrokinetisk potential (de på biologisk vei dannede er derimot negative). Nu er det overveiende sannsynlig at et naturlig sølvsulfidkolloid vil være negativt ladet;

kalkspaten i gangene må da meget raskt felle ut kolloidet og gjøre dets eksistens (og dermed vandring) til en umulighet. Jeg har gjort mange forsøk til dette, idet jeg har rystet sølvsulfidsoler med grove pulvere av kalkspater fra de forskjelligste steder i Kongsbergfeltet. Kolloidet feltes alltid meget raskt, i løpet av minutter eller sekunder, mens som nevnt de sulfidiske mineraler trenger timer eller måneder for å gi samme effekt.

Man har også tenkt sig at da magnetkis er den viktigste båndkis, skulde magnetiske felter ha felt kolloidet. Jeg har opbevart forskjellige sølvsulfidsoler i et magnetfelt på 11000 gauss i en halv time uten at der skjedde nogen synlig forandring.

Av dette fremgår at på Kongsberg vil sølvsulfidsoler bare meget vanskelig kunne dannes og ikke eksistere, mens båndene ikke kan felle dem ut. De har derfor neppe spillet nogen rolle.

Konklusjon.

Konklusjonen av alle de nevnte forsøk må bli at det er lite sannsynlig at sølvet på Kongsberg er felt ved kjemisk reaksjon med båndkisene.

Sølvet sitter nemlig ikke på båndkisen, men i de åpne ganger og til dels i drummer i sidestenen, uten at sølvet i disse drummer kan sees å være knyttet til kisen. Når man har villet hevde at opløsningene har ekstrahert svovel av sidestenen, kan man innvende at sølvopløsningene ikke kan løse noget svovel før alt sølv i dem er felt ut; og vel heller ikke da før også opløsningens innhold av andre metaller (som kobber eller kvikksølv?) er fjernet; dette vil vel si at sidestenen også må holde disse metaller anriket, hvilket er ganske ukjent. Teorien synes også å forutsette at sølvopløsningene ikke har holdt noget svovel på forhånd. Så vidt jeg kan forstå er dette en ikke helt sikker antakelse. Sølvionkonsentrasjonen kan ha været meget liten. Dessuten må man huske på at det er bare en meget liten del av opløsningene som kan være blitt presset gjennem sidestenen, den allerstørste del må ha passert gjennem de åpne gangspalter hvor motstanden mot deres bevegelse har været overordentlig meget mindre. Denne del er overhodet ikke kommet i berøring med sidestenen.

På de fleste av sølvgangene er det mot sidestenen et tykt belegg av kvarts. Dette kan muligens ha beskyttet sidestenen ganske effektivt mot utlutning ved de yngre sølvavsettende opløsninger; og dessuten må de (alkaliske) opløsninger som har avsatt kvartsen ha utlutet de lettere opløselige bestanddeler i sidestenen ganske anderledes effektivt enn de senere sølvavsettende opløsninger — såfremt en sådan utlutning overhodet er mulig. Leilighetsvis kan man se omtalt at sidestenen er sekundæromvandlet. Således nevner A. Helland (56) at han i hornblendeskifre fra Kongens grube og Gottes Hülfe har funnet at magnetkiskornene er omgitt av en glansløs hinne som skyldes dekomposisjon. C. A. Münster (82) sier at gabbroen og de mørke hornblendebånd mangesteds viser sig avbleket i nærheten av en gang og dens ramifikasjoner; og C. Bugge (24) sier at opløsningene av annen generasjon ofte har hatt en sterk omvandlende virkning på sidestenen hos hovedgangene og bergartsbruddstykker i gangene. — I de fleste tilfelle kan man imidlertid ikke se at sidestenen er omvandlet på nogensomhelst måte. Det er heller ikke nødvendig at en omvandling av sidestenen har noget å gjøre med selve sølvavsetningen; og den av Helland funne matte sone om magnetkiskornene kan være av betydelig større alder enn sølvfellingen idet den kan være dannet umiddelbart efter kisens avsetning.

Forsøkene viser at magnetitt og ilmenitt feller sølv nokså raskt. Man kan ikke se at de har gjort det i naturen, hverken i båndsonene eller utenfor. Dette kan tyde på at disse mineraler ikke er kommet i berøring med sølvopløsningene, men da kan heller ikke kisene ha gjort det.

De kiser som finnes på gangene selv, og som er eldre eller samtidige med sølvet, skulde være særlig utsatt for å bli fortrengt av dette. Dette er imidlertid bare skjedd i liten grad; det er derfor ikke noget rart i at båndkisene, som jo er betydelig vanskeligere tilgjengelig for opløsningene, ikke har reagert. At sølvopløsninger ikke behøver å reagere med kiser, selv om de tilsynelatende har god anledning til det, fremgår av en undersøkelse av E. S. Bastin (4) av sølvmalm fra South Lorraine og Cobalt, Ontario; hvor han viser, iallfall for en av forekomstene (Frontier Mine) at sølvet er primært, der er intet sprang mellem avsetningen av de eldre kobolt—nikkelarsenider og det yngre sølv, og arsenidene er aldri fortrengt av sølvet og kan overhodet ikke ha været virksomme ved sølvets avsetning (således viser saffloritt og koboltglans sine krystallflater mot det metalliske sølv). Og dette altså til tross for den betydelige sølvfellende evne disse mineraler har. — På Kongsberg kan man se at sølvopløsningene, istedetfor å fortrenge kiser, tvert imot selv har avsatt sådanne.

Det er naturligvis ikke min mening at de sølvavsettende opløsninger *overhodet* ikke er kommet i berøring med sidestenen. Drummer er hyppige, og ved lett opsprekkelige bergarter kan sidestenen i en avstand av flere desimeter fra hovedgangen være isprengt sølv i form av tynne skjell (82). Men også her er det meste, eller adskillig, av sølvet på den egentlige sølvgang. Selv om sidestenen ikke er særlig opsprukket, vil opløsningen kunne gjennemtrenge den ved diffusjon. A. R. Whitman (142) har vist at diffusjonshastigheten i marmor gjennemtrengt med vann er omtrent så stor som diffusjonshastigheten i rent vann. Derfor vil nok selv i tett sidesten den oprinnelige bergfuktighet langsomt fortrenges av de nye opløsninger; men såsnart opløsningene i sidestenen slik har fått samme sammensetning som den i gangene vil en ytterligere stofftilførsel på denne måte være en langsom prosess, særlig når gangopløsningene selv er tynne med hensyn på det stoff som skal tilføres (sølv).

2. Sølvfelling ved elektrolyse.

Det er meget vanskelig å svare på spørsmålet om hvorvidt elektrolytiske fenomener har spillet nogen rolle ved sølvets felling på Kongsberg. Jeg skal her bare kort antyde nogen av de problemer som reiser sig, og i tilknytning til dette omtale nogen forsøk jeg har gjort.

Den første som utkastet tanken om en elektrolytisk utfelling av sølvet på Kongsberg var visstnok Durocher (i 1849). Den er senere nærmere utformet av C. A. Münster (82) og av L. Tronstad (127) og av L. Tronstad sammen med T. Høverstad (128).

Münster påpeker muligheten av en hel rekke forskjellige elektrolytiske prosesser: sølvfelling under samtidig oksydasjon av kisen, konsentrasjonskjeder, termoelektriske strømmer, „søiler" dannet av to forskjellige kiser, sekundærstrømmer fremkommet ved polarisasjon, kapillarelektriske virkninger, og han mener at som en sum av alle (eller nogen) av disse effekter skulde der være dannet nogen få mektige resultantstrømmer som skulde gjennemsette feltet følgende minste motstand. Han viser ved forsøk at fahlbåndstykker i sølvopløsninger virkelig feller metallisk sølv.

Tronstad (dels sammen med Høverstad) omtaler særlig de såkalte lokalelementer, kapillarelektrisk felling og Becquerelfenomenet, og viser eksperimentelt at alle disse prosesser kan levere metallisk sølv; for det siste fenomen viser han også teoretisk at det kan skje.

Man kan innvende forskjellig mot disse teoriers evne til å forklare fellingen av det metalliske sølv på Kongsberg. Münster selv trodde ikke at konsentrasjonskjeder eller termoelektriske elementer skulde kunne felle sølv. — Ved felling direkte på kiser, ved søiler av to kiser, sekundærstrømmer, lokalelementer, eller Becquerelfenomenet må man i alle tilfelle anta at sølvet blir sittende direkte på den fellende kis. Sølvet sitter på Kongsberg jo nettop ikke på selve kisen. Kapillarelektrisk felling kan bare forklare dannelsen av de tynne sølvskjell som sitter inne i glimmer eller på lignende steder i båndene, og ikke dannelsen av det som sitter som store krystaller i de centimeterbrede sølvganger. Forutsetningen for at fenomenet kan optre er at mineralene virkelig lader sig negative i en sølvopløsning; det er ganske ukjent hvorvidt de gjør det. Tronstads forsøk viser at prosessen er meget langsommere enn mange av de andre som jeg har omtalt. Endelig er det vanskelig å forstå hvordan dette fenomen, som er knyttet til en godt isolerende fast fase, skal kunne forklare sølvets tilknytning til de godt ledende kisstriper.

Mot felling ved Becquerelfenomenet kan innvendes at det er meget mulig at sølvionkonsentrasjonen i opløsningene har været så lav at de konsentrasjonskjeder fenomenet bygger på ikke har kunnet opnå den nødvendige elektromotoriske kraft. For det første kan sølvet ha været sterkt bundet som komplekse klorider, og for det annet kan opløsningene selv ha holdt svovelioner (det er jo sulfider avsatt på gangene), og da kan Becquerelfenomenet neppe optre. Tronstad er ikke opmerksom på at nogen av de kiser han har brukt til sine forsøk *må* felle sølv metallisk på grunn av sin kjemiske sammensetning.

Münster tenkte sig, som nevnt, at som en sum av alle de småstrømmer som kan optre skulde der fremkomme nogen få mektige resultantstrømmer som skulde følge de ledende båndsoner og sette tvers over gangspaltene på passende steder. En konsekvens av dette skulde bli at sølvet måtte sitte ensidig i gangspalten, på katodesiden, og han hevder at dette stemmer med erfaringen. — Såvidt jeg har kunnet bringe på det rene er dette iallfall ikke det almindelige, gangene har aller oftest en meget symmetrisk sonaropbygning.

Det er iallfall fire forskjellige faktorer som må tas i betraktning ved denne elektrolytiske sølvfelling ved jordstrømmer. Det er energikilden, ledningsbanene, den polarisasjon som må overvinnes for at strømmen kan gå fra bergartene (båndenes kisstriper) ut i opløsningene eller omvendt, og endelig den plasering sølvet må få i forhold til ledningsbanene.

For utredningen av de energikilder (elektromotoriske krefter) som kan optre i bergarter kan jeg henvise til f. eks. R. Ambronns bok (1).

Den elektrolytiske teori bygger egentlig på den antakelse at fahlbåndssonene på grunn av sitt kisinnhold har hatt en så meget bedre elektrisk ledningsevne enn de kisfri bånd. Dette bekreftes av M. Mortensons (79) målinger i grubene (sådanne målinger blev visstnok egentlig først utført av C. Birkeland (18)) og forklares ved A. Bugges iakttakelse at de „virksomme bånd“ holder kis i meget lange, sammenhengende striper. Tallverdier for de almindelige bergarters og kisers elektriske ledningsevne finnes i f. eks. R. Ambronns bok (1) og i Handbuch der Experimentalphysik (53). Denne påfallende forskjell i de forskjellige bånds ledningsevne må ha været mindre fremtredende dengang sølvavsetningen fant sted, fordi saliniteten i bergfuktigheten må ha været betydelig større dengang enn nu. Målinger av f. eks. H. Reich (98) har vist at bergartenes ledningsevne i høi grad er avhengig av bergfuktigheten, likesom silikaters ledningsevne i sin almindelighet er i høieste grad avhengig av deres vanninnhold; og ifølge K. Sundberg (122) er bergartenes ledningsevne bestemt av deres porevolum og av ledningsevnen av vannet i porene.

Kiser polariseres meget sterkt (R. C. Wells (140)), hvilket må by strømgjennemgangen påtvers av de væskefylte spalter stor motstand. I hvert fall ved de kortere spalter som optrer mot dypet måtte man tro at strømmen heller vilde følge de meget godt ledende kisstriper *rundt* spalten.

Kryssregelen sier at sølvet finnes på gangenes skjæringspunkter med fahlbåndene, dog således at sølv kan finnes i nogen avstand (nogen meter) fra båndet. Jeg kjenner ingen nærmere undersøkelse av sølvets fordeling på gangene i forhold til de ledende kisstriper; forholdene her turde være av stor interesse for den elektrolytiske fellingsteori for forekomsten.

Når to elektrisk ledende kiser berører hinannen i en ledende opløsning opstår et kortsluttet galvanisk element. Det synes å være meget vanskelig å fastslå hvilke potentialforskjeller to kiser vilde vise slik i rent vann, fordi kisene, som G. Tamman (123) har vist hårdnakket adsorberer fremmede ioner. R. C. Wells (140) har vist at de målte potentialer langt mere avhenger av opløsningens sammensetning — dens oksydasjonsgrad eller surhetsgrad — enn av kisens art. — Slike potentialforskjeller ytrer sig ved at den ene kis opløses raskere av et passende agens enn den gjør når den under samme betingelser alene behandles med den samme opløsning, mens den annen kis beskyttes mot angrep. En slik effekt er for eksempel vist av V. H. Gottschalk og H. A. Buehler (46) ved kisers oksydasjon, og av G. Shouten (108) ved felling av tunge metaller av opløsning ved kiser.

Hvis opløsningen er en sølvopløsning, kan det hele resultere i at der ved elektrolyse dannes vesentlig metallisk sølv istedetfor sølvsulfid. Jeg gjorde et forsøk som viste at sølvfelling ved kiser således kan modifiseres betydelig: hårdt sammenpresset pulver av en blanding av den duktile covellin med magnetkis begynte i en sølvsulfatopløsning allerede ved almindelig temperatur i løpet av få timer å danne store sølvkrystaller, og kort ophetning til 130° gav praktfulle, flere millimeter lange krystaller. Både kobber og jern var gått i opløsning.

En sølvfelling ved slike kortsluttede kiselementer kan neppe ha spillet nogen rolle på Kongsberg. For det første måtte sølvet i tilfelle ha sittet på kisen, og for det annet er det bare den kis som vender direkte mot opløsningen som kan virke slik, og da blir kismengden i båndene for liten til å kunne forklare fellingen av noget større av sølvet, og endelig er der ikke overalt i båndene en blanding av flere kiser.

Jeg har allikevel gjort nogen forsøk med sølvfelling ved en blanding av to kiser, fordi jeg håpet derved å få et mål for virkningen av de potentialer to kiser viser mot hverandre i sølvopløsninger ved 130° når de har det overtrekk av sølvsulfid som de allikevel ikke kan undgå å få.

Opheter man et mineral (med en viss overflate) i en sølvopløsning, vil en viss sølvmengde felles. Den halve mineralmengde (med den halve overflate) vil, som tabell 3, (side 22) viser, under ellers like betingelser felle den halve sølvmengde. Bruker man den halve vektsmengde av hvert av to mineraler i mekanisk blanding skulde man vente at den derved felte sølvmengde skulde være det aritmetiske middel av de sølvmengder som den hele vektsmengde av de to mineraler feller hver for sig, under den forutsetning at ingen potentialforskjeller griper forstyrrende inn. En potentialforskjell vil beskytte den ene kis, og lette angrepet av den annen, men sannsynligvis vil disse to effekter i motsatt retning ikke være like store, således at den felte sølvmengde vil avvike fra det nevnte aritmetiske middel.

I alle forsøk er anvendt kiser av kornstørrelsen 40—80 mesh, og 50 ml av den samme sølvsulfatopløsning av normaliteten 0,04618, i de tidligere beskrevne rør. Alle rør er ophetet i 6 timer til 130°. I de fem første forsøk (tabell 22) er der anvendt 1,000 g av hver kis. I de næste ti rør (tabell 23) var der 0,500 g av hver av to kiser i alle de mulige kombinasjoner. I tabellen er i første kolonne angitt de to anvendte kiser, i næste kolonne under *A* de av denne blanding felte sølvmengder (i % av den tilstedeværende), i tredje kolonne under *B* det av tabell 22 beregnede aritmetiske middel av de to kisers sølvfellende evne, og under *C* i fjerde kolonne forholdet mellem *B* og *A*. Hvis *C* er større enn 1, har de to kiser felt mindre enn beregnet, er det mindre har de felt mere.

Tabell 22.

Mineral	% sølv felt
Magnetkis..............	20,6
Svovelkis..............	8,5
Kobberkis.............	25,2
Sinkblende, nr. 6........	4,6
Blyglans, nr. 13..........	8,5

Tabell 23.

Mineraler	A	B	C
Magnetkis og svovelkis...	19,4	15,0	0,75
Magnetkis og kobberglans.	44,0	23,9	0,52
Magnetkis og sinkblende..	18,6	12,6	0,66
Magnetkis og blyglans....	23,4	14,6	0‘62
Svovelkis og kobberkis...	17,6	17,0	0,97
Svovelkis og sinkblende..	5,7	6,6	1,15
Svovelkis og blyglans....	8,6	8,5	0,99
Kobberkis og sinkblende .	17,1	14,9	0,87
Kobberkis og blyglans....	20,0	16,9	0,85
Sinkblende og blyglans...	8,1	6,6	0,81

Når man ser bort fra de blandinger som inneholder magnetkis (som nevnt side 37 faller av en eller annen grunn resultatene for dette mineral merkelig ujevnt ut), avviker forholdet $\frac{B}{A}$ i siste kolonne så lite fra 1 at jeg derav ikke tør trekke nogen slutninger om de virkninger potentialene har. Effektene er betydningsløse. Alltid hadde, som den mikroskopiske undersøkelse viste, begge kiser felt sølv som sulfid eller metall, og produktene adskilte sig ikke på nogen måte fra dem som de rene kiser gir. I disse forsøk er kisene bare i løselig berøring med hverandre, men kontakten mellem dem er dog ikke så dårlig, fordi det dannede sulfidbelegg kleber kornene delvis sammen. Betydelig større effekter, men til gjengjeld ikke sammenlignbare eller reproduserbare, kan man få ved å presse sammen to kiser, hvorav den ene er duktil, slik som det i nevnte forsøk med covellin og magnetkis, hvor sølv tydelig elektrolyseres ut.

Som konklusjon av dette avsnitt kan jeg trekke: en forklaring av sølvfellingen på Kongsberg som skal bygge på de foreliggende mineralers og bergarters elektriske egenskaper synes å måtte støte på betydelige vanskeligheter. Det dreier sig her om ualmindelig kompliserte fenomener, og der skal sikkert et meget betydelig arbeide til før man sikkert kan avgjøre om prosesser av denne art har spillet en rolle eller ikke. For øieblikket ser det ikke rimelig ut at de skulde ha gjort det.

3. Sølvfelling ved blanding av sølvopløsningen med en annen opløsning.

Man kan bare i meget liten utstrekning ha nogen begrunnet mening om i hvilken grad sølvopløsningene kan ha blandet sig med andre opløsninger. Det er en selvfølge at en sølvfelling derved kan komme i stand, idet disse andre opløsninger kan ha holdt opløst sulfider eller reduksjonsmidler av mange slags. Det er en meget rimelig forklaring på sølvets meget uregelmessige forekomst på gangene; men det kan være vanskelig å forstå hvordan en sådan blanding skal kunne foregå over et område på flere hundrede kvadratkilometer, og hvorfor den har bevirket en sølvfelling bare i eller i umiddelbar nærhet av gangspaltenes krysspunkter med kisholdige bånd. — Et av de reduksjonsmidler man har tenkt sig kunde være tilført ved tilsig til sølvopløsningene, er organiske stoffer.

Stadig nevnes det som et viktig trekk at der på sølvgangene finnes bituminøse stoffer.

Disse er undersøkt av A. Helland (55), som gjorde en analyse av den såkalte anthracitt, som finnes i store stykker på gangene. Han fant at sammensetningen svarer til en typisk anthracitt; spesifikk vekt 1,380; spor av kvelstoff lot sig påvise ved Lassaignes metode. Videre:

	%		Beregnet som askefri, %	
H	1,97	1,81	1,98	1,82
C	95,36	95,45	95,87	95,80
O	2,14	2,37	2,15	2,38
N	Spor	Spor	Spor	Spor
S	-	-	-	-
Aske	0,53	0,37		

Jeg har gjort kvalitativ analyse av asken av et stykke. Asken utgjorde 0,90 %, og bestod vesentlig av kalciumkarbonat med litt kvarts; dessuten var der ganske lite sølv. Ellers kjenner jeg ingen undersøkelser av disse stoffer fra Kongsberg.

Det har været påstått at stanken av sådanne bituminøse stoffer skal skyldes svovelvannstoff. Hellands analyser viser intet svovel; og ved å løse inntil 10 g kraftig stinkende, mørk kalkspat i saltsyre eller eddiksyre er det ikke lykkedes mig å påvise det minste svovelvannstoff i den undvikende kullsyre ved blyacetat på papir eller i opløsning.

Det er ikke lett å forstå hvilken rolle disse stoffer har spillet for sølvavsetningen — hvis da deres forekomst overhodet er mere enn tilfeldig. J. H. L. Vogt (133) mener at de kan ha beskyttet mot oksydasjon og kanskje også leilighetsvis ha utfelt sølv direkte. — Det er jo en gammel iakttakelse at sølvopløsninger reduseres av bitumen; således finnes metallisk sølv på lagflatene i Mansfelderkobberskiferen, eller man kan finne metallisk kobber på råtnende grubetre. Under tiden finnes metallisk sølv på spalter i anthracitten fra Kongsberg. — Jeg gjorde disse forsøk:

1,00 g pulverisert anthracitt fra Kongsberg blev i lukket rør ophetet i 7 timer til ca. 138° med 50 ml sølvsulfatopløsning av normaliteten 0,04180. Derved feltes ut 11,9 % (26,9 mg); hvorav iallfall en del som krystaller av metallisk sølv.

Av et stykke sterkt bituminøs kalkspat (illeluktende) fra Gottes Hülfe grube fikk jeg ved saltsyre isolert en del bitumen som et svart pulver (0,3 g av 34 g). 64,9 mg herav blev ophetet i et fullstendig evakuert rør med 40 ml sølvsulfatopløsning (normalitet 0,04706) til ca. 134° i ca. 46 timer. Da var av de 203,0 mg sølv felt de 32,3 (svarende til 15,9 %). Der var dannet en masse sølvflitter i væsken. Den sølvfellende evne er altså meget stor.

C. A. Münster (82) synes å ha ment at bitumenet kan ha felt sølv på grunn av sitt svovelinnhold. Dette kan ikke ha været tilfelle, da det ikke inneholder svovel. Heller ikke kan dets funksjon, som av Vogt antatt, ha været å beskytte mot oksydasjon, idet der ikke er noget som tyder på at en sådan har været virksom; hele miljøet er reduserende, og en oksydasjon ved luftsurstoffet (i grunnvannet opløst surstoff eller ved dette oksydert jern) er utelukket, da overordentlig tallrike studier har vist at en sådan oksydasjon bare er virksom over grunnvannspeilet.

Noget som kan tyde på at bitumen har været virksomt, er at dets natur forandres eftersom gangen er sølvførende eller ikke. Dette kan dog også tydes omvendt, nemlig at det er sølvet som katalytisk har omvandlet de organiske stoffer.

Det er, som nevnt, ikke lett å vite hvilken betydning for sølvforekomstens dannelse man skal tillegge disse stoffene, fordi man faktisk ikke vet nogen ting om hvorfra de skriver sig. De kan være kommet sigende ovenfra, fra skifrene som kanskje dekket feltet, men det kan også hende at de er av magmatisk oprinnelse og er tilført av selve de sølvførende opløsninger. Det kan i siste fall synes merkelig at de har ventet med å felle sølv til opløsningene akkurat har passert båndene, og dette kan tas som et tegn på at de ikke har været så sterke sølvfellere allikevel dengang da gangene blev fylt. For alt det vi vet kan jo deres konstitusjon ha forandret sig adskillig siden dengang. De er tilført i vandig opløsning, men er nu fullstendig uopløselige i vann.

Bitumenet kan også ha været virksomt på en annen måte, idet det er en mulighet for at det kan ha redusert opløsningens innhold av sulfation til sulfidion. Det er klart at sølv derved må kunne felles som sulfid. Nu er det en gammel, kjent sak at bitumenet i bituminøse anhydritter reduserer denne til kalciumsulfid, og at jernsulfatopløsninger i sterkt bituminøse skifre (alunskifer) av samme grunn leverer svovelkis; men det er meget omstridt om denne reaksjon er i stand til å gå uten bakteriers hjelp. Reduksjon av sulfater i sjøvann i avstengte havbukter skjer visstnok ved anaerobe bakteriers hjelp. Noget lignende er funnet for oljeleienes saltvann; således fant E. S. Bastin og F. E. Greer (5) at bakterier bare finnes i det svovelvannstoffholdige saltvann. Der er også gjort en del forsøk, til dels med motstridende resultater: C. E. Siebenthal (109) nevner negative forsøk av en rekke forskere; f. eks. at ferrosulfat ikke reduseres til disulfidet ved organisk stoff, eller at en blanding av kobbersulfat, ferrosulfat, svoveldioksyd og pulverisert kul i løpet av 122 dager ikke hadde dannet noget kobbersulfid. G. A. Thiel (126) fant at ved en innvirkning av bituminøse bergarter på opløsninger av ferrosulfat og sinksulfat er reduksjonen til sulfid merkbart langsommere i sterilt medium enn ved nærvær av bakterier, men der var dog en viss merkbar reduksjon som var særlig sterk ved nærvær av kulsur kalk.

Jeg gjorde dette forsøk: 64,5 mg av det samme bitumen som blev brukt til forsøket på side 61 blev ophetet i 40 ml halvmolar kaliumsulfatopløsning i et omhyggelig evakuert skyterør i ca. 46 timer til ca. 134°. Det blev derved ikke dannet påviselige mengder sulfid.

4. Sølvfelling av en opløsning som ikke reagerer med noget annet.

Hvorvidt sølvglansen er felt direkte ved utkrystallisasjon av vandige opløsninger kan det være vanskelig å ha nogen begrunnet mening om. Vel er den uhyre tungt opløselig i vann, og f. eks. Vogts forklaring på kryssregelen går ut på at sølvglansen er felt ved *tilførsel* av svovelioner til sølvopløsningene. Nu kan det godt være at sølvsulfidets opløselighet ved 100—200° er betydelig større i natriumkloridopløsninger (eller opløsninger av andre klorider, ved kompleksdannelse) enn det er ved almindelig temperatur i rent vann. Man vet heller intet om sølvkonsentrasjonen i opløsningen, eller om den tid gangenes fylling har tatt. I det foregående har jeg omtalt enkelte omstendigheter som synes å gjøre det litet rimelig at sølvglansens felling skyldes svoveliontilførsel til opløsningene. En avkjøling av en opløsning som holder sølvioner og svovelioner, er kanskje den enkleste forklaring på sølvglansavsetningen.

Hvis sølv skal felles ut av sølvionholdige opløsninger som metallisk sølv uten at opløsningen skal reagere med noget annet, kan dette bare skje ved at noget annet i opløsningen samtidig overtar sølvionets positive ladning og derved oksyderes op. Dette noget annet kan bare være et annet element som samtidig må være til stede i opløsningen; og der vil da i opløsningen innstille sig en ionelikevekt av typen:

$$nAg^{+} + Me^{m+} \rightleftarrows nAg + Me^{(m+n)+}$$

Ved en forandring av en av likevektsfaktorene vil en sådan likevekt kunne forskyves mot høire, med den følge at metallisk sølv krystalliserer ut, raskt eller langsomt eftersom hvor raskt likevektsfaktoren underkastes forandring. De eneste likevektsfaktorer det her kan være tale om er opløsningenes temperatur, og deres sammensetning (ganske særlig deres surhetsgrad). Trykket er her vel ikke så stort at forandringer i det vil ha særlig innflytelse på en vandig opløsning; iallfall vil følgen av en trykkforandring være mindre enn følgen av selv en liten temperaturforandring.

Annet enn sådanne likevekter kan neppe få sølvet til å krystallisere jevnt ut. Reduksjonsmidler som for eksempel de organiske stoffer vil vel felle sølvet ut straks de kom i opløsningen, og ikke vente til denne på sin vei var blitt koldere.

De metaller som efter det tidligere nevnte om opløsningenes sammensetning kan ha været til stede sammen med sølvet, og som kan optre i mere enn ett oksydasjonstrinn, er kvikksølv, kobber, jern, arsen, antimon, kobolt, nikkel, mangan og bly. Innstiller det sig nu nogen sådan likevekt mellem disse metaller og sølv? M. a. o., kan disse metaller i en lavere valens redusere ut sølv av en sølvopløsning, og kan deres opløsning i en høiere valens omvendt oksydere sølv (reduseres av sølv)?

Kvikksølv. Det er ikke mulig å bringe på det rene om ioner av enverdig kvikksølv er i stand til å redusere ut sølv, fordi det ikke er mulig å holde de to elementer i opløsning sammen ved nogenlunde nøitral reaksjon i såpass høie konsentrasjoner at kvantitative forsøk kan anstilles. Av sterkt sure opløsninger vil sølv ikke reduseres ut. — Ophetes en sølvtråd i en sublimatopløsning vil tråden amalgameres kraftig, og der dannes store mengder sølvklorid, og merkuroklorid. Likeså leverer kvikksølvsulfatopløsning (sur) ved koking med sølvpulver en opløsning med rikelige mengder sølvsulfat og merkurosulfat. Omvendt optar metallisk kvikksølv adskillig sølv av en sølvopløsning. Men i betraktning av den letthet hvormed sølv optar kvikksølv, og av at kvikksølvmengden allikevel trer sterkt tilbake for sølvmengden på Kongsberg, må man anta at sølvet ikke i større mengde er felt ved reaksjon med kvikksølvopløsninger.

Kobber. Likevekten:

$$Cu^{++} + Ag \rightleftarrows Cu^{+} + Ag^{+}$$

er påvist allerede av H. N. Stokes (115) som fant at han derved kunde omkrystallisere sølv ved hjelp av en vandig opløsning av kobbersulfat ved høiere temperatur. G. Edgar og L. S. Cannon (34) undersøkte likevekten $CuCl + AgCl \rightleftarrows Cu^{++} + 2\,Cl^{-} + Ag$ hvor altså sølvklorid og kuproklorid foreligger som bunnfall.

Jeg har gjort kvalitative forsøk som viser at sølv løses merkbart av en svakt sur kobbersulfatopløsning, mindre av en nøitral. Likevekten er meget avhengig av temperaturen, og også av opløsningens surhetsgrad. Ved avkjøling av en kobbersulfatopløsning, mettet med sølv, faller atter litt sølv ut som meget små krystaller. En kobbersulfatopløsning (litt sur) som er mettet med metallisk kobber feller av en sølvsulfatopløsning øieblikkelig metallisk sølv, fordi dens innhold av kuproioner da er større enn ovennevnte likevekt tillater. I nøitral opløsning er likevekten forskjøvet meget langt mot venstre. Ved nærvær av kalkspat kan en kobbersaltopløsning derfor bare løse (og omvendt bare utskille) meget små sølvmengder; den kuproionmengde som da skal til for at opløsningen skal være i likevekt med metallisk sølv er meget liten. Sølvklorid og kuproklorid, begge løst i nøitral natriumkloridopløsning, reagerer ikke med hverandre (smlg. s. 9).

Jern. Likevekten

$$Fe^{+++} + Ag \rightleftarrows Fe^{++} + Ag^{+}$$

har været kjent lenge og er oftere undersøkt. Jeg kan nevne H. N. Stokes (115), A. A. Noyes og B. F. Braun (87), H. C. Cooke (31) og N. A. Tanaeff (125). Resultatene er: sølv løses ved opvarming og felles ved avkjøling. Likevekten forskyves i retning av at sølv opløses når opløsningens konsentrasjon av fri svovelsyre økes. Av nøitral sølvopløsning, fri for ferrijern, vil selv så lite som en del ferrosulfat på 10^6 deler opløsning bevirke felling av metallisk sølv. Det ferrihydroksyd som felles av ferrisaltopløsninger ved opvarming på grunn av hydrolyse virker *ikke* på metallisk sølv. Alle disse likevekter innstilles raskt, og de sølvmengder som en ferrisaltopløsning slik kan løse, er betydelige, hvorfor det er almindelig antatt at denne reaksjon spiller stor rolle ved sekundær opløsning og anrikning av sølv. På Kongsberg kan opløsningens innhold av ferrijern, på grunn av kalkspaten, bare ha været lite. Opløsningen kan derfor heller ikke ha holdt meget ferrojern, da sølv ellers straks vilde reduseres ut. Det kan stemme med at kalkspaten er så jernfattig. Treverdig jern kan videre ha været komplekst bundet som fluorid.

Arsen. I nøitrale eller næsten nøitrale opløsninger er det ikke mulig å studere nogen likevekt mellem arsen og sølv, da felling av sølvarsenat ikke er til å undgå. Jeg har imidlertid forsøkt å slå fast hvorvidt arsenikk kan redusere sølvopløsninger, eller arsenatopløsninger oksydere metallisk sølv:

Ved opheting av ett gram arsenikk i en 0,04180-normal sølvopløsning i 8,5 timer til ca. 140° feltes 48,6 % av sølvet, derav en stor del som lange tynne sølvnåler, en del også som sølvspeil.

Reduksjon av arsenatopløsninger ved metallisk sølv er, hvis den går, en meget langsom reaksjon: ved å ophete en sølvspiral i 50 ml nøitral natriumarsenatopløsning i 20 timer til 130° fikk jeg i ett tilfelle ingen reduksjon, i et annet tilfelle var opløsningen blitt 0,00004-normal på treverdig arsen (arsenatopløsningen var 0,04-molar).

Antimon. Heller ikke likevekten antimon-sølv lar sig undersøke i vandig opløsning, av samme grunn som nevnt under arsen. Forsøk viste at antimontrioksyd reduserer sølvopløsning, om enn langsomt (se side 91). I alkalisk opløsning av natriumantimonitt frembringer sølvnitrat et svart bunnfall av metallisk sølv. Lignende de under arsen nevnte forsøk på å redusere dikaliumdihydropyroantimonat ved metallisk sølv førte ikke til noget.

Mangan. Setter man til en opløsning av mangansulfat med sølvsulfat et alkali, fremkommer et meget fint fordelt, fullstendig svart bunnfall. Jeg viste ved analyser at dette bunnfall inneholder mangandioksyd og sølv i nøiaktig de mengder som kreves av ligningen:

$$\mathrm{Mn^{++} + 2\,Ag^{+} + 4\,OH^{-} = MnO_2 .\ H_2O + 2\,Ag + H_2O} .$$

Selv spor av alkali frembringer dette bunnfall. Ved syretilsetning opløses det atter. Det samme bunnfall med samme sammensetning dannes selv om opløsningen holder et stort overskudd av natriumfluorid. Kalciumkarbonat i sølvsulfat eller mangansulfat frembringer bare bunnfall av disse metallers karbonater, men i en blandet opløsning av de to metallers salter frembringes straks det samme svarte bunnfall. Da all kalkspat fra Kongsberg inneholder manganokarbonat, frembringer den i en sølvsulfatopløsning derfor et svart bunnfall som holder metallisk sølv. En opløsning som holder sølvsulfat og mangansulfat utskiller efter nogen timer litt av det samme bunnfall, raskere ved koking. Tilsetning av en opløsning av kalciumbikarbonat til en slik opløsning frembringer ikke noget bunnfall. — H. Leitmeier og F. Feigl (72) anvendte reaksjonen til å skille mellem aragonitt og calcitt.

Kobolt (men ikke nikkel) gir lignende bunnfall med sølvopløsning og alkali som mangan gjør; også dette bunnfall opløses av syrer. Kalciumkarbonat frembringer ikke dette bunnfall i opløsninger som samtidig holder sølv og kobolt.

Jeg har ikke kunnet påvise nogen lignende reaksjon for bly. Ved tilsetning av et alkali til en opløsning av sølvnitrat plus blynitrat dannes bare et tungt gult bunnfall, som vel er et sølvplumbit.

Jeg har ikke eksperimentelt kunnet vise temperaturavhengigheten av reaksjonen mellem sølvioner og manganioner, resp. koboltioner.

Disse ionelikevekter fortjener i høi grad å undersøkes ordentlig; blandt annet må man bringe på det rene hvorledes det hele arter sig ved nærvær av de naturlig forekommende kompleksdannende ioner. Orienterende forsøk har vist at forholdene ikke er enkle. En vanskelighet ved undersøkelsen av disse likevekter i opløsningen er at det dannes meget tungtopløselige bunnfall.

Jeg skal her bare ganske kort antyde hvorledes man kan forestille sig at ionelikevekter som de nevnte kan ha hatt innflytelse på sølvfellingen.

Når metallisk sølv først er dannet på gangene, må opløsningene til en viss grad ha innstillet sig efter dette. Hvis så ikke var tilfelle, måtte det dannede sølv, ved en reaksjon som en av de nevnte, enten atter løses, eller mere sølv måtte felles ut (på det første felte?) uansett om det var en sådan prosess som gav anledning til felling av det første sølv eller ikke. Hvilket av de nevnte metaller det er som har været virksomt, avhenger av opløsningens sammensetning og pH og temperaturen. En ytterligere forandring i en av disse likevektsfaktorer i samme retning som den som gav anledning til sølvfelling må bevirke en ytterligere sølvfelling. At herunder mangan eller kobolt ikke er felt som oksyder kan ha så mange forklaringer (f. eks. at opløsningene var for tynne).

En nevneverdig forandring i opløsningenes pH eller øvrige sammensetning forutsetter vel reaksjon med eldre mineraler eller andre opløsninger. Ved en sådan indirekte reaksjon med f. eks. sidestenen, kan denne kanskje frembringe sølvfelling uten å inneholde noget som kan redusere sølvioner og uten at elektrolytiske fenomener behøver å optre. Særlig viktig kan her den overgang fra surt til alkalisk som de magmatiske ekshalasjoner gjennemgår på grunn av silikatenes hydrolyse ha været.

Det eneste som kan medføre en større likevektsforskyving *uten* at opløsningene reagerer med noget annet, er en temperaturforandring. For iallfall nogen av de nevnte likevekter er det sikkert at en temperaturnedsettelse vil bevirke en sølvutskillelse.

Nu er det meget som viser at magmatiske opløsninger avkjøles på sin vei, og det er også vist teoretisk at så må skje (H. C. Boydell (12)). Denne avkjøling må henge sammen med en varmeavgivelse til sidestenen, og denne varmeavgivelse må henge sammen med sidestenens varmeledningsevne. På Kongsberg har, som før nevnt, de kisstriper som synes å ha medført sølvfellingen en betydelig større elektrisk ledningsevne enn de øvrige bergarter. De må ha en tilsvarende høiere varmeledningsevne, da de vesentlig består av magnetkis, og denne er, i sammenligning med silikatene, en god leder både for varme og elektrisitet. Og mens denne forskjell i elektrisk ledningsevne dengang ikke kan ha været fullt så fremtredende som nu, fordi sidestenen må ha været gjennemtrengt (ved diffusjon?) av de godt ledende opløsninger, hvorved de dårligledende bergarters elektriske ledningsevne må være blitt større, vil noget lignende ikke være følgen for varmeledningsevnen, fordi en vandig elektrolytopløsning ikke har en nevneværdig større ledningsevne enn det rene vann, og fordi silikatenes ledningsevne er av omtrent samme størrelsesorden.

Kisstripene må derfor ha tatt en forholdsvis stor del av varmetapet på sig, og kan derfor, ved forskyving av en av de nevnte ionelikevekter, ha bevirket at opløsningene har avsatt meget sølv ved passasjen forbi dem. De behøver ikke å ha virket opvarmende på sine omgivelser ved å lede varme op fra dypet, fordi de ikke behøver å medføre nevneverdige forandringer i varmenivåflatene.

J. H. L. Vogt (133) og A. Holter (120) antyder begge at bergartenes varmeledningsevne kan ha været avgjørende for sølvfellingen, men uten å nevne noget om hvilke kjemiske reaksjoner det er som derved skulde ha været virksomme.

På enkelte av de ganger som holder mosesølv gir dette umiddelbart inntrykk av å være krystallisert ut av en opløsning. Disse ganger har nemlig ytterst et tykt kvartsbelegg mot fullstendig uomvandlet sidesten, og det eneste tungmetallmineral er det metalliske sølv som sitter fullstendig innleiret i kalkspat, uten å kunne sees å være i berøring med noget annet. I nogen av disse stuffer er sølvkrystallene meget korte og tynne, og berører ikke hverandre innbyrdes, hvilket man ser, når kalkspaten løses i syre. Krystallene har, som vanlig, et tynnt belegg av koboltnikkelarsenider.

Også mange andre steder har man gjort den erfaring, at sølvforekomstenes sølvinnhold er avhengig av de sølvførende gangers sidesten. Således nevner G. Berg (6) at man på Freiberg har noget lignende den Kongsbergske kryssregel, idet man finner rike gangkryss der hvor den såkalte annen fluobarytiske formasjon krysser de kisrike eldre ganger. J. H. L. Vogt (132) omtaler for den lille sølvforekomst på Hisø ved Arendal at man synes å ha iakttatt at gangen er rikest der hvor den skjærer fahlbånd. C. A. Münster (82) antyder, at ved Eidsfoss jernverk skulde fahlbåndenes rolle være overtatt av magnetjernstensmassene. I alle disse tilfeller kunde muligens sidestensbergartenes vannledningsevne ha været medbestemmende for sølvets fordeling.

De mange opstillinger av den ensartede mineralsuksesjon på ertsganger (50, 76, 84), en suksesjon som er nokså uavhengig av de omgivende bergarter så lenge disse ikke er meget reaktive, kan jo tydes derhen, at det er en helt lovmessig forskyving av likevekter i opløsningen som har bevirket sølvfellingen. Sølvets fordeling efter kryssregelen kan derfor kanskje opfattes som et resultat av to overleirede prosesser. Den ene er den sølvutskillelse som opløsningenes avkjøling (og andre endringer) kanskje i alle tilfeller før eller senere vilde ha bevirket, og den annen er den lokalisering av denne felling om de godt ledende kisstriper som passasjen gjennem de dannede sprekkesystemer har medført.

Det er min hensikt, når jeg får anledning til det, å undersøke disse likevekter nærmere. Jeg vil her bare påpeke, at det ikke synes utelukket, at de kan ha spillet en rolle og at de kan gi en utvungen forklaring på visse, ellers vanskelig forståelige trekk ved forekomsten: at sølvet vesentlig foreligger metallisk, kryssregelen, at gangene kan holde sølv i *nogen* avstand fra de ledende kisstriper, og at det metalliske sølv kan sitte elektrisk og kjemisk godt isolert fra sidestenen med dens kis ved gangmineraler (kvarts).

Trådsølv.

Trådsølv fra Kongsberg er beskrevet og avbildet mange ganger i den geologiske litteratur; jeg kan f. eks. henvise til J. H. L. Vogts (133) og C. Bugges (24) arbeider med illustrasjoner.

Det er lange, krumme og forvredne dannelser med en karakteristisk stripning parallelt med lengderetningen. Trådenes diameter kan være fra brøkdeler av en millimeter til flere centimeter, og lengden kan være flere decimeter. Som følge av denne variabilitet kan de se temmelig forskjellig ut, det kan være lange, tynne tråder eller krumme staver, eller korte, tykke horn, eller rene nøster av fine fibre. Det er mulig, men ikke sikkert, at der er to typer av dem (120); men mens man aldri et øieblikk er i tvil om man har trådsølv eller ikketrådsølv for sig, er det ikke lett å se hvor man skal trekke grensen mellem de to typer efter deres utseende. Oftest kan trådene ses å sitte med sin nederste, bredeste ende festet på ett eller annet mineral, således at det ser ut som om de vokser op av dette. Mineralet er alltid en elektrisk leder. I de allerfleste tilfeller er det sølvglans, men det kan leilighetsvis være en rødgyldigerts, svovelkis eller endog metallisk sølv.

Alle de tråder jeg har undersøkt viser enkelte felles trekk. Det er for det første den karakteristiske måten de „vokser“ op av underlaget på. De brekkes lett av ved basis, og bruddflaten viser ingen reaksjonssone eller nogen fortsettelse av tråden ned i sulfidet. Undersøker man stripningen i mikroskopet ser man at på *alle* er der krystallflater. Samtlige de stuffer, hvis overflate ikke er beskadiget, viser pa disse flater en trinvis opbygning av små, til dels meget små krystallflater. På enkelte større tråder kan dette ses med det blotte øie. Allerede J. H. L. Vogt (133) gjør opmerksom på at det alminde-lige trådsølv leilighetsvis viser antydning til krystallinsk overflate. Det hele synes å tyde på at trådene har en opbygning av lange, smale krystaller som ligger parallelt med deres lengderetning. Hver tråd ser ofte ut som bunter av krystaller, og ofte ser det ut som om enklere tråder har sluttet sig sammen til tykkere, mere kompliserte dannelser. Selv om en tråd makroskopisk ser nogenlunde rund og glatt ut, viser den på grunn av denne krystalflatedannelse i mikroskopet en ujevn overflate med skarpe kanter og innspringende vinkler mellem disse.

H. C. H. Carpenter og M. S. Fisher (26) fant ved en mikroskopisk undersøkelse av trådsølv fra Kongsberg, slepet ved en egen teknikk, at tråden er opbygget av krystaller som er lengdestrukket i trådens retning. R. Schenck og medarbeidere (104) fant ved røntgenundersøkelser av kunstige sølvtråder, at fiberaksen er parallell med [112]; noget sådant kunde ikke påvises hos et par naturlige prøver (120).

Resultatene av de hittil utførte analyser av sølvmineralene fra Kongsberg synes å tillate følgende slutninger:

1: Trådsølv er dannet ved en annen prosess enn de øvrige typer av metallisk sølv.

2: Trådsølv synes alltid å være dannet på samme måte.

3: Det trådsølv som sitter direkte på sølvglans er dannet av denne.

Allerede lenge har man gjort forsøk på å eftergjøre det naturlige trådsølv, for om mulig derved å finne forklaringen på dets dannelse. Typen finnes jo ikke bare på Kongsberg, men også ved en rekke andre sølvforekomster. Selv om det på Kongsberg bare utgjør en mindre del av det metalliske sølv, er dets utbredelse der almindelig. Man må derfor gå ut fra at det dannes forholdsvis lett i naturen, altså under temmelig almindelige betingelser.

Man har videre, på grunn av at det oftest sitter festet på sølvglans, gått ut fra at det er dannet derav, og det er bemerkelsesverdig, at i alle de tilfeller hvor man virkelig har fått dannet trådsølv kunstig, er man gått ut fra sølvsulfid eller de dermed nær beslektede sølvselenid og sølvtellurid. Det fortjener også å nevnes, at man har fremstillet lignende tråder av kobber av det sølvsulfid meget lignende kuprosulfid. Man kan tyde dette derhen at trådsølvdannelsen er knyttet til bestemte egenskaper ved parret sølv-sølvsulfid. — Jeg skal gi en ganske kort oversikt over de viktigste arbeider over trådsølvdannelsen.

R. J. Haüy (54) fant at ved måtelig ophetning av sølvglans vokser sølv i trådform ut av dens overflate.

H. Rose (100) undersøkte dannelsen av trådsølv ved opheting av sølvsulfid i vannstoffatmosfære.

Hittorff (59) fant at når han sendte en elektrisk strøm gjennem sølv- eller kuprosulfid blev der dannet tråder ved den negative pol.

G. Bischof (10) fant at trådsølv kunde dannes ved en temperatur under sinkens smeltepunkt.

B. Corenwinder (32) fikk en livlig tråddannelse i vanndamp ved 100°, og ved å ophete forskjellige deler av røret til forskjellig temperatur.

G. Bischof (11) reduserte kunstig svovelsølv med vanndamp til tre- og mosformede gestalter.

Gladstone (43) ophetet litt kuprooksyd i sølvnitratopløsning og fikk derved trådformet sølv. Trådene var meget små; det var meget smukt å følge tråddannelsen i mikroskopet.

E. B. Münster (83) reduserte porøst (felt, tørret, pulverformet) og smeltet sølvsulfid i vannstoff og vanngass, og fikk tråder av det porøse, men ikke av det smeltede sulfid. Derav slutter han at tråddannelsen henger sammen med at de porøse stoffer kan suge op gasser. Sølvsulfidet suger op så meget vannstoff at svovelet kan forbinde sig fullstendig med dette, og så foregår dekomposisjonen plutselig — han arbeider nemlig ved meget høie temperaturer, så reaksjonen foregår raskt. — Umiddelbart efter dekomposisjonen foreligger sølvet og svovelvannstoffet molekylvis fordelt ved siden av hverandre i en slags fluid tilstand, „hvorpaa begge paa Grund af Svovlvandstoffets Spændkraft baner sig Vei efter den mindste Modstandslinie, idet Sølvet derved antager Traadformen.“ En beregning viste ham at svovelvannstoffet må ha et trykk på flere tusen atmosfærer. Han håpet å kunne gi et bevis for at trådsølv virkelig er dannet av sølvglans ved å sammenligne kvikksølvinnholdet i sammenhørende stykker av de to — det strandet på at der ikke var noget kvikksølv.

J. H. Collins og T. A. Readwin (30) iakttok at i løpet av ett år var sølvtråder vokset ut av sølvglans.

J. Margottet (78) fikk av grovkrystallinsk sølvsulfid, fremstillet ved å lede svoveldamp over sølv ved mørk rødglød, i vannstoffstrøm tråder fra 440° av. Først blev der dannet fjærbusker (aigrettes), som senere gav tråder. Sølvsulfidkrystallene beholder derunder sin form.

A. Liversidge (77) fikk sølvtråder av smeltet sølvsulfid i muffel mellem 200 og 400°.

L. Opificius (88) iakttok at når sølvsulfid i stykker ophetes i vannstoffstrøm i 36 timer fås tråder op til 3 ganger 70 millimeter. Anvendes kuldioksyd istedenfor vannstoff, fås de samme smukke tråder. I begge tilfeller fås de smukkeste tråder *mot* gasstrømmen.

Den første som omtaler fenomenet mere inngående for Kongsbergforekomstens vedkommende er J. H. L. Vogt (133). Han citerer også en lang rekke eldre arbeider som ikke er mig tilgjengelige. Særlig behandler han reduksjonen ved vanndamp, og forklarte likesom Münster tråddannelsen ved at de opsugede gasser i dannelsesøieblikket har en betydelig ekspansjonskraft; det dannede metalliske sølv vil derfor, likesom en rakett, skytes ut av sulfidet.

K. Friedrich og A. Leroux (41) fikk tråder bare av kunstig sølvsulfid (som alltid inneholder små mengder fritt sølv) fra 180° av, derimot ikke av naturlig sølvglans, ikke medmindre denne har været smeltet. De slutter derfor at sølvet ikke er dannet av sulfidet ved høiere temperatur, men bare presses ut av det, vel som en følge av den ved 180° foregående omvandling av sølvsulfidet. Betingelsen for dannelsen av trådsølv er ikke nærvær av vanndamp, men nærvær av metallisk sølv.

Temmelig inngående er fenomenet undersøkt av V. Kohlschütter og E. Eydmann (69). De anvendte alltid felt sølvsulfid, og undersøkte dets forhold i vannstoff, luft, vanndamp og vakuum. For vannstoff finner de at reduksjonen er påviselig alt fra 200° av, synlige sølvpunkter fra 280° av, reduksjon og tråddannelse først for alvor fra 350° av. Også ved 380° og 2¼ atmosfæres trykk fikk de tråder. For surstoff begynner prosessen ved 280°. For vanndamp fant de at produktet ligner meget det for vannstoff og surstoff, kun måtte temperaturen være vesentlig høiere. Likeså fikk de sølvtråder ved å lede kvikksølvdamp over sølvsulfid ved ca. 360°; det gikk langsommere enn reduksjonen ved hjelp av vannstoff.

Ved opheting i kvikksølvpumpevakuum i nogen timer til 260—280° fikk de en liten mengde trådsølv, men ingen påviselig trykkstigning.

Ved opheting i fullstendig vanndamp- og luftfri kuldioksyd til 400° fikk de litt tråder; dette antar de skyldes dissosiasjonen av sulfidet, idet svovelet føres bort. Dette bekreftet de ved følgende: de ophetet sølvsulfid til 400° i kvikksølvpumpevakuum sammen med et stykke kobberblikk. Kobberet blev svart, og der dannedes sølvhår i sulfidlagets øverste del, selv om kobberet befant sig i nogen avstand fra sulfidet. Brukes platina istedenfor kobber, skjer der intet slikt. Med sølv istedenfor kobber fås litt tråder. Med aluminium (uten vakuum) fås ikke tråder. At kobber virker sterkest, forklares ved at det har den største affinitet til svovel.

O. Mügge (80) leverer en god oversikt over eldre arbeider. Han fant, at tråddannelsen ved anvendelse av vannstoff som reduksjonsmiddel begynner ved 180°. Han fant *ingen* forskjell på naturlig og kunstig (smeltet) sølvsulfid. Han forklarer prosessen ved å anta at det hele har været i en kvasiflytende tilstand under selve prosessen, men er krystallisert efterpå, idet sulfidet spaltes raskere enn det utreduserte sølv krystalliserer. Ved sliping fant han at trådene fortsetter ned i sulfidet.

A. Beutell (8) antar som forklaring at det sølv som dannes ett sted på sulfidet ved dissosiasjon i vakuum *vandrer* gjennem sulfidet til dettes koldere ende, hvor det er å iaktta som fine hår. Han fikk rikelig trådsølv ved å opvarme sølv og sølvsulfid i berøring med hverandre. Sølvselenid og sølvtellurid opfører sig som sulfidet.

C. Tubandt, S. Eggert og G. Schibbe (129) fant at ved elektrolyse av en sølvsulfidcylinder mellem en platinakatode og en sølvanode er efter en tid anoden avtatt i vekt, mens cylinderen er tiltatt. Dette sølv finnes igjen som fine tråder i cylinderens indre.

R. Schenck, R. Fricke og G. Brinckmann (104) fremhever, at da sølv i sølvsulfid har en meget stor bevegelighet, og selv svake strømmer kan elektrolysere sølvsulfid, kan den termiske tråddannelse ved opheting i oksyderende eller reduserende gaser eller i vakuum forklares ved denne elektrolytiske sølvionevandring i sulfidet, altså ved kjeden:

$$\mathrm{Ag} \underset{T_1}{|} \mathrm{Ag_2S} \underset{T_2}{|} \mathrm{Ag}$$

De smeltet sammen sølvsulfid og sølvsulfat og fant at det efter ligningen $Ag_2S + Ag_2SO_4 = 4\,Ag + 2\,SO_2$ dannede sølv var i trådform. Dog angir de intet nærmere om forsøksbetingelsene. Ved røntgenundersøkelser fant de at i trådene er fiberaksen parallell med [112] og sammenholder dette med det av R. Glocker og E. Kaupp funne at elektrolytisk utskilt sølv kan ha fiberstruktur.

K. Søllner (111) antar, idet han støtter sig til Volmers forestillinger, at sølvet vandrer på grunn av en todimensjonal termisk bevegelighet langs sulfidets overflate efter reduksjonen, inntil det krystalliserer ut om tilfeldig dannede centra. At det derved fremkommer tråder, forklarer han ved at trådene skulde ha en retning med foretrukket veksthastighet. Dette stemmer med Beutells forsøk, som viste at en sølvsulfidstang ved opheting spaltes sterkest i den varmeste ende, mens trådsølvdannelsen skjer i den koldeste ende.

H. W. Kohlschütter (68) bekrefter eksperimentelt ved hjelp av to sammenpressede sølvsulfidcylindre at den av Schenck og medarbeidere antatte termokjede kan levere trådsølv. Katoden var efterpå fastvokset til den ene sulfidcylinder ved tykke sølvtråder. Fenomenet var uavhengig av om elektrodene var forbundet med en ytre leder eller ikke. De to sulfidcylindre hang ikke sammen. Han forklarer tråddannelsen ved at sølvkim, dannet på sulfidets overflate ved termisk dissosiasjon, åpenbart vokser ved stofftilførsel fra sulfidets indre. Trådene er faste som trukne sølvtråder, men brekker lett løs fra sulfidets overflate; de fortsetter ikke, iallfall ikke med samme tykkelse, inn i sulfidet. At tråder særlig lett dannes av sølv via sølvsulfid, må skyldes eiendommeligheter ved paret sølv-sølvsulfid. Han iakttok, at sølvsulfidet ved tråddannelsen beholdt sin form selv i nærheten av en tråd. Er først en sølvkim dannet, konsentreres fenomenet om denne; det forklarer at man på mindre sulfidpartikler får oftest bare en tråd. Trådene er krummet fordi de stadig knekker av på det svake ansatssted. Berører en tråd en annen sulfidpartikkel enn den den vokser på, utløses fenomenet også der. Felt (svovelholdig) sulfid gir særlig store tråder. Overskytende sølv undertrykker fenomenet. Dette skyldes at en tilblanding av sølv gir for mange sølvkimer, mens svovel gir anledning til dannelsen av bare få kimer. Videre viser han ved forsøk at den aggregasjon som fører til tråddannelse finner sted på sulfidets overflate og ikke i det indre.

Alle disse undersøkelser stemmer ikke helt overens. Særlig strider mange av de eldre iakttakelser mot de nyere. Der kan fremsettes innvendinger mot flere av dem; også mot de forklaringer som er fremsatt.

Corenwinder fikk sølvtråder allerede ved 100° ved vanndamp (Collins og Readwin ennog ved almindelig temperatur — i luft?), mens det for de andre av de nevnte ikke er lykkedes ved så lav temperatur. Jeg har ophetet sølvsulfid i vann til 150° i flere timer uten at det skjedde den minste forandring.

Jeg har forsøkt å eftergjøre Gladstones forsøk med tråddannelse ved kuprooksyd, men fikk aldri tråder, bare sølv som fine krystaller.

L. Opificius fikk tråder i kuldioksydstrøm. Her kan ikke gassen ha været virksom, men bare den termiske dissosiasjon som ved temperaturer over 400° kan bli meget merkbar.

J. H. L. Vogt mente at kompakt sølvsulfid ikke skulde gi tråder, hvilket han bygger på Münsters iakttakelser.

Dette strider mot en rekke andre forskeres iakttakelser. Det lykkedes mig, ved opheting i vannstoff eller luft, med letthet å få smukke tråder av naturlig sølvglans fra Kongsberg. Jeg fremstillet grovkrystallinsk sølvsulfid ved å ophete et sølvblikk med overskytende svovel i vakuum i nogen dager til 350°, og destillere av det overskytende svovel i vakuum. Der dannedes kompakte krystaller med kantlengder på flere millimeter. Disse gav ved opheting i vannstoff- eller luftstrøm smukke tråder. — Antakelsen om den rakettaktige utskyting av sølvet strider mot den kjennsgjerning at sølvsulfid ved denne temperatur (3—400°) er altfor bløtt og plastisk til at sølvet kan presses ut slik: sølvet selv kan, på grunn av forurensninger, ha en betydelig hårdhet. Videre måtte da trådene fortsette ned i sulfidet, hvilket de ikke gjør. Og hvor skulde endelig de store gassmengder som skulde til for å skyte ut tråder av flere hundre grams vekt, få plass, og hvor skulde de komme fra? Prosessen er langsom, ved meget lavere temperatur *meget* langsom; og ved den reaksjon man har med vannstoff ($Ag_2S + H_2 \rightleftarrows 2\,Ag + H_2S$) som er den som raskest og sikrest gir tråder, er gassvolumet før og efter prosessen det samme.

K. Friedrich og A. Leroux hevdet at der bare dannes trådsølv av kunstig sølvsulfid og ikke av naturlig. Det kan efter de ovennevnte forsøk med sølvglans fra Kongsberg ikke være riktig. Likeledes er fenomenet ikke begrenset til temperaturer over 180°, hvilket fremgår av forsøk jeg senere skal nevne. Derfor kan prosessen heller ikke ha nogen forbindelse med sølvsulfidets omvandling ved 180 (eller rettere 179°).

V. Kohlschütter og E. Eydmann antar en pseudogasstilstand. Denne synes noget hypotetisk. Jeg skal senere anføre forsøk som viser at den ikke kan forklare dannelsen av det naturlige trådsølv.

Det samme kan innvendes mot O. Mügges kvasiflytende tilstand. Han anfører intet bevis for muligheten eller eksistensen av en slik tilstand. Han har ved sliping funnet at trådene fortsetter ned i sulfidet. Dette har jeg ikke kunnet bekrefte; det er heller ikke tilfelle med det naturlige trådsølv fra Kongsberg.

C. Tubandt, S. Eggert og G. Schibbe har fått tråder ved elektrolyse, og dette har været tatt som forklaring på det naturlige trådsølv. Disse tråder ligger jo inne i sølvsulfid, helt omleiret av dette. Da sølvsulfid er meget tungt angripelig, vil trådene bare meget vanskelig kunne isoleres fra dette. Dessuten ligger det i sakens natur at disse tråder må være ytterst tynne. Så snart en sådan sølvbro mellem elektrodene er blitt så tykk, at den ikke mere smeltes over på grunn av den elektriske strøms varmevirkning, vil den jo overta den elektriske ledning, og dermed vil dens tykkelsestilvekst ophøre. Dannelsen av disse tråder kan derfor ikke forklare dannelsen av centimetertykke tråder i naturen.

Schenck, Fricke og Brinckmann: mot deres termoelektriske elektrolyse av sølvsulfid som forklaring på den vandring sølvet må gjøre, kan innvendes: dypt i jordens indre må de temperaturforskjeller som kan bestå mellem de to ender av et stykke sølvsulfid være meget små. Sulfidet er en god varmeleder, hvorfor de termoelektriske strømmer som kan opstå, må bli meget svake, så prosessen vil ta urimelig lang tid. De fikk videre tråder ved å smelte sammen sølvsulfat og sølvsulfid. Dette forsøk har jeg prøvet å eftergjøre, idet jeg i lukkede rør smeltet sammen de to stoffer i forskjellige forhold; enten i støkiometrisk blanding, eller med overskudd av det ene eller det annet. Det lykkedes mig derved aldri å få tråder. Jeg fikk sølv i forskjellige former, men mesteparten blev en glasaktig, hård masse med en eiendommelig rød farve.

Alle de nevnte forsøk på å fremstille trådsølv av sølvsulfid er, som man vil se, utført ved oksydasjon eller reduksjon av sulfidet med gasser (vannstoff, surstoff, luft, vanndamp, vanngass eller kvikksølvdamp), ved termisk dissosiasjon eller ved elektrolyse. De eneste undtakelser er Gladstones forsøk med kuprooksyd og Schenck og medarbeideres forsøk med sammensmelting av sulfidet og sulfatet; hvilke to forsøk det altså ikke lykkedes mig å eftergjøre.

Under forsøket på å anvende disse resultater til forklaring av trådsølvets dannelse i naturen (på Kongsberg), viste det sig at ingen av dem er særlig tjenlige hertil. For det første er de fleste av forsøkene gjort ved altfor høi temperatur, og for det annet har de anvendte reagenser været i gassform.

Den laveste temperatur som kan gi trådsølv, opgis noget forskjellig, fra 180 til 280°, med undtakelse av Corenwinders og Collins-Readwins angivelser, som jeg ikke har kunnet bekrefte.

For å bringe på det rene hvad den laveste temperatur er som kan gi påviselig tråddannelse for *naturlig* Kongsbergsølvglans, med den gass som lettest og sikrest gir tråddannelse, gjorde jeg dette forsøk: En sølvglanskrystall[1] (fra Gottes Hülfe og fra en stuff som ved omhyggelig analyse ikke viste sig å holde annet enn sølv og svovel) av vekt 0,6585 g blev ophetet i uavbrutt vannstoffstrøm i en elektrisk ovn i 147 timer til 248—256 (i middel 255°). Vekten var efter ophetingen 0,6581 g, svarende til at 0,5% var redusert. Overflaten så gråligmatt ut, i mikroskopet kunde ses at hele overflaten var dekket med meget fine tråder, som til dels kunde ses å være lengdestripet. Dette forsøk viser at tråddannelse ved temperaturer under 250° vil være en uhyre langsom prosess. Tidligere (side 15), har jeg nevnt at temperaturen under sølvavsetningen vel har været betydelig (ca. 100°?) lavere. Det er derfor ikke rimelig at de nevnte gasser har frembragt de mektige tråder man finner på Kongsberg.

Det er i sig selv lite rimelig at gasser skulde optre: først skulde sølvsulfidet avsettes av vandige opløsninger, så skulde gangspaltene fylles av gass (damp) som skulde utføre reduksjonen til trådsølv i løpet av meget lang tid, endelig skulde spaltene atter være blitt fylt med væske og helt utfylt med gangmineraler (kalkspat); og denne veksling mellem gass og væske skulde man anta ikke bare for Kongsbergforekomstens vedkommende, men for alle de forekomster hvor trådsølv foreligger.

Den gass man først og fremst har villet anta var den virksomme, er vanndamp. Ved et midlere dyp i grubene, iallfall 2000 meter under den daværende dagoverflate (dette anslag er for sikkerhets skyld betydelig lavere enn de vanlige) har bergartenes trykk været 6—700 atmosfærer, vanntrykket kanskje 200 atmosfærer, mens vanndampens metningstrykk ved 200° er vel 15 atmosfærer. Det er derfor gitt at vannet må ha været kondensert. — Det er intet som tyder på at det ellers har været til stede andre gasser (kuldioksyd, vannstoff, kulvannstoffer) i så store mengder, at de ikke kunde være opløst i vannet under disse betydelige trykk.

Alt dette gjør det rimelig å anta, at det naturlige trådsølv må være dannet annerledes, nemlig ved innvirkning av vandige opløsninger (på sølvsulfid) ved forholdsvis lave temperaturer.

En omstendighet som også taler mot at trådsølv er dannet slik som i de nevnte forsøk, er, at på Kongsberg finnes det foruten på

---

[1] Bergingeniør R. Støren har velvilligst fra sølvverkets samling overlatt mig det materiale jeg trengte til alle disse forsøk.

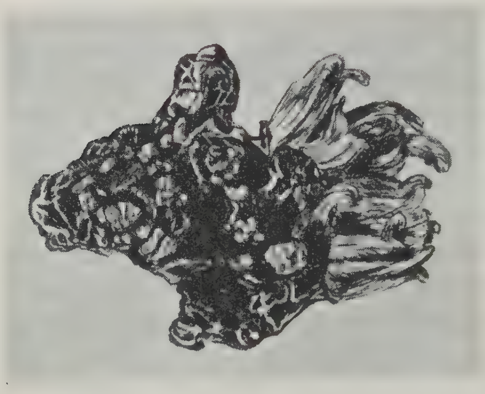


Fig. 7.

sølvglans også på andre ertser, og deriblandt på rødgyldigertser, men disse leverer ikke trådsølv ved reduksjon med vannstoff.

Problemet blir altså nu å forklare trådsølvdannelsen ved hjelp av de tidligere (side 14) nevnte opløsninger med elementer som sølv, kobber, kvikksølv, arsen, antimon, jern, mangan, svovel, fluor, klor etc.

Til å begynne med går jeg ut fra at trådene er dannet av sølvsulfid, idet deres naturlige forekomstmåte synes å vise at dette er det hyppigste. Man må da bringe på det rene om opløsninger av elementer som de nevnte har nogen virkning på sølvsulfid.

En del betraktninger over de naturlige sølvtråder kan gi visse holdepunkter (fig. 7).

Ser man på en dannelse som denne, med tykke sølvtråder sittende med sine tykkeste ender festet på et stykke sølvglans, og går ut fra at sølvet i trådene stammer fra sulfidet (dette er jo tilfelle ved fremstilling av trådsølv i gasser, og man må vel kunne gå ut fra, at det i alle tilfelle dreier sig om samme fenomen — trådsølvet er i sig selv et temmelig enestående fenomen), er det klart at sølvet må ha foretatt en vandring. Ved de lave temperaturer det her er tale om, kan det ikke ha vandret som metallisk sølv, og heller ikke som kompakt sølvsulfid. Vel har trykket under prosessen været betydelig (kanskje flere hundre atmosfærer), men det har på de åpne, væskefylte spalter bare dreiet sig om et jevnt hydrostatisk trykk, ikke noget stress som kunde formodes å ha bevirket en utpressing av trådene (sammenlign Vogts rakett-aktige utskyting eller Friedrich og Leroux's utpressing). Tilbake blir muligheten for vandring: 1: som en diffusjon av elektrisk nøitrale sølvatomer gjennem den faste fase, 2: vandring langs den faste fases overflate overensstemmende med Volmers forestillinger, 3: vandring i kolloidal form, eller 4: vandring i ioneform. Sølvets vandring kan videre tenkes å foregå gjennem væsken, langs fasegrenseflaten eller gjennem sulfidet.

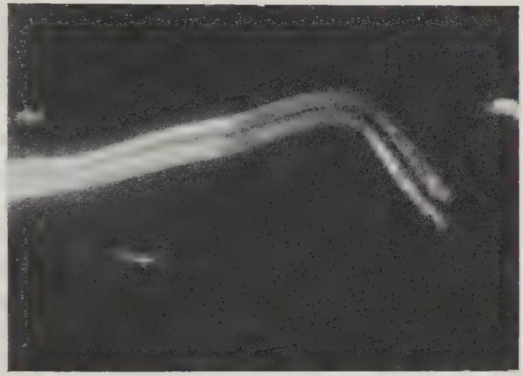


Fig. 8.

De fleste av alle disse muligheter er tidligere påpekt av en eller annen av de tidligere nevnte forskere.

Man kan her se bort fra diffusjon av elektrisk nøitrale sølvatomer gjennem sulfidet. Det er en altfor langsom prosess til at den kan ha hatt nogen betydning her; og selvsagt er der ikke tale om diffusjon av sølvatomer i det metalliske sølv.

Den annen mulighet er vandring av sølvet i en slags todimensjonal fase langs den faste fases overflate. Den er antatt av Söllner for tråddannelsen i gasser. Han antyder dog intet eksperimentelt bevis for at noget sådant foregår. En konsekvens av hans teori er at da måtte trådenes lengdetilvekst foregå i spissen og ikke i basis (hvilket han selv er klar over). Arten av trådenes opdeling (som man kan iaktta både på kunstig og naturlig trådsølv), taler for at innleiringen av nye sølvatomer i basis er forklaringen på tilveksten. Trådene deler sig op, og på naturlige tråder vokser undertiden grenene sammen igjen lenger oppe. Denne opdeling og sammenvoksing skjer alltid ved at grenene møtes under meget spisse vinkler, således at de til sist smyger sig parallelt op til hverandre. Dette kan forklares både ved en spissetilvekst og ved en basistilvekst. Derimot har jeg aldri kunnet finne at trådene vokser sammen igjen korsvis, eller at en tråd stumper av mot en annen — hvilket meget vel vilde være mulig ved en spissetilvekst, men umulig ved en basistilvekst. Söllners antakelse finner jeg derfor lite rimelig. Et enkelt forsøk viser tydelig at trådene vokser ved innleiring i basis; iallfall ved tråddannelsen i gasser, og derfor vel også i væsker:

Jeg ophetet en liten cylinder av sammenpresset sulfid i vannstoff inntil tråder var synlige i lupen. Uten at ophetingen blev avbrutt, blev et spor svovel ført inn i røret. Trådene blev øieblikkelig sværtet av et overtrekk av sølvsulfid. Ophetingen fortsattes til hvitt sølv atter var synlig i lupen, hvorefter forsøket blev avbrutt. Under mikroskopet viste det sig at trådene var dekket av et tynt lag sølvsulfid i sin ytterste ende, mens de var fullstendig hvite nederst, og med en fullstendig skarp grense mellem de to partier. Fig. 8 viser et stykke av en sådan tråd i ca. 100 gangers forstørrelse.

Man skulde vente at trådenes tynne sulfidovertrekk skulde reduseres til metallisk sølv igjen, men dette hindres åpenbart av at laget inneholder et overskudd av svovel.

Mot antakelsen av en kolloid vandring av sølvet i metallisk form kan innvendes at jeg (se side 84 ff.), har fått dannet trådsølv av kobberholdige opløsninger. Nu løses sølv en del i kobbersaltopløsninger, hvilket vil hindre at kolloider kan bestå; sølvet vil omkrystallisere. Derimot ser det ut som om kolloide sølvopløsninger, når de først er dannet, under passende betingelser kan felle sitt sølv ut i helt kompakt form (se E. Einecke (35)).

Som eneste mulighet står da igjen at sølvet kan vandre i ioneform. Denne vandring kan tenkes å foregå gjennem væsken eller gjennem det faste sulfid (idet en ionevandring langs den faste fases overflate, noget i analogi med Söllners antakelse om en todimensjonal vandring av nøitrale sølvatomer, er lite sannsynlig av de samme grunner).

Ved en ionevandring i væsken må sølvet på en eller annen måte primært gå i opløsning. Utfellingen og utladingen av dette opløste sølv på sulfidet igjen må være en elektrolyse. Men en elektrolytisk felling av sølv på sølvsulfid er lite sannsynlig, da sølvsulfid er den mest elektropositive av alle kiser, edlere enn sølvet selv (iallfall er dette sannsynlig). Den habitus sølv antar ved en elektrolytisk utfelling er oftere undersøkt; men det er ikke lykkedes mig å finne noget i litteraturen om at sølvet derved antar trådlignende former. Og man får jo lett tråder ved reduksjon av sølvsulfid med gasser; da er en elektrolyse helt utelukket.

Den eneste mulighet som da gjenstår er ionevandring av sølvet gjennem sølvsulfidet. H. W. Kohlschütter (68) viste da også at dette kan forklare de fleste fenomener vedrørende trådsølvdannelsen i gasser. Det er til evidens bevist at denne vandring foregår med den største letthet. Prosessen er meget grundig undersøkt, f. eks. av C. Tubandt og H. Reinhold (130) som fant at det rene, over 179° bestandige alfasølvsulfid er ren kationleder; betaformen er en dårligere leder og en blandet sådan, idet elektronledning like under omvandlingspunktet deltar med ca. 20% i ledningsevnen; ved lavere temperatur

(0°) er også denne form ren kationleder. H. Braune (13, 14) angir at ved høiere temperatur er sølvionenes fri bevegelighet i sølvsulfid ca. 200 ganger så stor som den er i vann. C. Wagner (135) viste at *anløpsprosesser* hos stoffer med elektrolytisk ledningsevne kan forklares enten ved å anta at kationer plus elektroner vandrer samme vei, eller ved at anioner vandrer en vei og elektroner den annen. Teoretisk kan han ut fra den første antagelse beregne anløpshastigheten for sølv i flytende svovel ved 220°; og mener at trådsølvdannelsen kan forklares ved at sølvet der vandrer på samme måte: svovel fjernes et eller annet sted på overflaten, tilsvarende blir sølv fritt, men det blir ikke på stedet, men vandrer i form av sølvioner plus elektroner inntil det treffer på sølvkimer, hvor det så utskilles som kompakt sølv. Ligger kimene på overflaten blir de skjøvet nåleformig ut, fordi svovelionene i sølvsulfid danner et stivt skjelett. — Han har ikke gjort lignende undersøkelser over betasølvsulfidet, da de effekter han undersøkte var for små ved 170°. — I et samtidig arbeide (136) viser han at det er sannsynlig at elektronledningen er overveiende over sølvionenes ledning i alfasølvsulfid. W. Jost og H. Rüter (66) kunde bekrefte Wagners resultater ved bestemmelse av diffusjonshastighet for små mengder kuprosulfid i alfasølvsulfid. De fant at ved store strømtettheter gjelder ikke Faradays lov lenger, og at ledningsevnen er overveiende metallisk, således at når Faradays lov synes å gjelde ved lavere strømtettheter, skyldes det sekundærprosesser, idet sølvet da kan diffundere raskt nok efter Wagners teori (altså i form av sølvioner plus elektroner) Wagners antakelser om arten av sølvets vandring i sølvsulfid er ytterligere bekreftet av H. Reinhold og H. Seidel (99).

Jeg forestiller mig efter dette at tråddannelsen i en opløsning kommer i stand på følgende måte:

Sølvsulfidets svovel fjernes og/eller bindes til noget annet enn sølvioner. Det derved i frihet satte sølv vandrer (efter Wagners forestillinger) gjennem sulfidet, til det på ett eller annet sted trer ut gjennem sulfidets overflate, hvor så trådene dannes. Opløsningen må altså inneholde noget som kan binde svovelet, og et reduksjonsmiddel som kan redusere sølvioner til metallisk sølv. Trådene sitter som loddet til sulfidet; brekker man dem av, ser man ingen reaksjonssone. Væsken kan derfor ikke komme til sulfidet der hvor trådene sitter. Væskens angrep på sulfidet og den derved resulterende tråddannelse må være lokalisert til forskjellige steder på sulfidets overflate, som derfor må ha forskjellige egenskaper. Denne forskjell behøver vel ikke være annet enn variasjoner i overflatens forurensninger (adsorberende evne?) med derav følgende mulighet for et noget forskjellig potential på de forskjellige steder.

At tråder kan dannes ved en enkel prosess på en måte som bare kan tilskrives sølvionenes vandring, viser følgende enkle forsøk (som ligner det Hittorff gjorde): En flat cylinder av sølvsulfid blev presset sammen mellem en sølvplate som anode og en sølvtråd som katode. Det hele blev ophetet i kulsyreatmosfære til 130° og en spenning på 0,5 volt anlagt mellem de to elektroder. Efterpå var der langs sølvtråden på sulfidet vokset ut meget små, men i mikroskopet synlige tråder av metallisk sølv. Dette sølv er altså elektrolysert tvers gjennem sulfidet.

Det gjelder å finne ut hvilke elementer og hvilke reduksjonsmidler det er som kan gi trådsølv under betingelser som de som må ha hersket på Kongsbergforekomsten under dennes dannelse.

Forsøkene er gjort på samme måte som de tidligere nevnte, i de samme bomberør.

Det anvendte sølvsulfid er fremstillet ved å felle sølvnitratopløsning med svovelvannstoff. Det grundig utvaskede bunnfall blev tørret i en strøm luftfri kulsyre ved litt over 100°, og så befridd for sitt svoveloverskudd ved en times videre opheting til 250—300°. Jeg fikk derved et grått pulver som blev siktet, fraksjonen 40—80 mesh blev brukt til forsøkene. De øvrige fraksjoner blev presset sammen til grove cylindre som blev freset op og igjen siktet (det er nemlig ikke mulig å knuse sølvsulfid).

Sølvsulfid er jo meget tungt opløselig (ifølge Chemikerkalender er opløseligheten ved 18° $1{,}37 \cdot 10^{-5}$ g i 100 ml), og i sammenheng dermed står dets store bestandighet likeoverfor de forskjelligste reagenser. Det første skritt blir å undersøke om nogen av de før nevnte elementer allikevel av en eller annen grunn, i fortynnet, vandig opløsning av en av sine forbindelser, i såvidt mulig nøitral væske, ikke skulde ha en eller annen virkning på sølvsulfid; uten at der er noget reduksjonsmiddel til stede. Forsøkene herover finnes i tabell 24. Der er anvendt 0,500 g sølvsulfid og 50 ml opløsning. Rørene er oftest ophetet i 20 timer til 130°. Tabellen viser, at av de anvendte reagenser er det, bortsett fra sølvopløsningene, bare opløsningene av kvikksølv-salter, salter av treverdig jern og antimonforbindelser som har nogen synlig virkning. De fortsatte forsøk er derfor utført vesentlig med disse elementer, og dessuten av spesielle grunner med kobbersalter.

Sølvsulfid og kvikksølvholdige opløsninger.

Kvikksølvsulfid er det eneste av disse elementers sulfider som i nøitral væske er tyngre opløselig enn sølvsulfid. Man skulde derfor vente å få omsetningen:

$$Hg^{++} + Ag_2S = HgS + 2\,Ag^{+}.$$

Tabell 24.

Forskjellige agensers innvirkning på sølvsulfid.

Opløsning	Molaritet	Tid timer	Temperatur	Anmerkning
H_2SO_4	0,544	9	140	Intet skjedd
$HgCl_2$	0,04	20	130	Rikelig HgS, AgCl, Hg_2Cl_2 Opl. mol. falt til 0,01129
$HgSO_4$	0,01945	20	130	Litt HgS og sølvkryst. Opl. var litt sur på forhånd
$CuCl_2$	0,04	20	130	Rikelig AgCl dannet
$CuSO_4$	0,04	20	130	Litt sølv? Ikke sølv i opl.
$FeSO_4$	5 %	14,5	150	Intet skjedd
$FeSO_4$	0,20	20	130	Intet skjedd
$NH_4Fe(SO_4)_2$	0,01	14	150	I opl. en sølvmengde svarende til 28,0 mg Ag_2S.
$NH_4Fe(SO_4)_2$	0,04	20	130	Spor sølv i opl.
NaOH mettet med As_2O_3	0,10	20	130	Intet skjedd
Na_3AsO_3 nøitral	0,04	20	130	Intet skjedd
Na_3AsO_4 nøitral	0,05	20	130	Opl. 0,0003-normal på AsIII — ellers uforandret
NaOH mettet med Sb_2O_3	0,10	20	130	Uforandret?
Brekkvinsten	0,04	46	100	Sølvsulfidet er helt omkrystallisert
Na_3AsO_4 nøitral	0,04	20	130	Intet skjedd
NaCl	0,04			
As_2O_3	0,04	20	130	Intet skjedd
$NiCl_2$	0,04	20	130	Intet skjedd
$Pb(NO_3)_2$	0,04	20	130	Intet skjedd
Ag_2SO_4	0,0418	18	150	10,9 % av sølvet felt efter et års henstand. Litt sølvkrystaller.
Ag_2SO_4	0,0444	20	130	1,6 % av sølvet felt. Litt sølvkrystaller
Ag_2SO_4 (60 ml)	0,04705	92	139	Litt krystaller. 2,3 % felt. Bare 0,10 g Ag_2S anvendt

Tabell 25.

Kvikksølvholdige opløsningers innvirkning på sølvsulfid.

Opløsning	Molaritet	Anmerkning
Merkuriklorid 50 ml	0,04	Dannet zinnober, kalomel, sølvklorid. Intet sølv. Molaritet falt til 0,01119
Merkuriklorid 25 ml .... Ferrosulfat 25 ml	0,08 0,08	ntet sølvklorid påviselig ntet zinnober synlig i mikroskop. Intet sølv.
Merkurisulfat 50 ml........	0,01945	Opl. er et hydrolyseprodukt av saltet i vann, altså sur. Sølv som små krystallnåler
Merkurisulfat 10 ml........ Ferrosulfat 40 ml	0,01945 0,25	Litt sølv som krystaller. Ikke tråder.
Merkurisulfat 25 ml........ Sølvsulfat 25 ml	0,01945 0,04	Dannet en del zinnober. Intet sølv

Ad det næst siste forsøk: blandingen av de to opløsninger i det nevnte forhold var i stand til å redusere ut sølv av en sølvopløsning; den var altså ikke for sur. Alle forsøk ophetet i 20 timer til 130°.

Forsøket viser, at noget slikt virkelig foregår. Der dannes zinnober som et rødt bunnfall. Forsøker man å utnytte dette til *reduksjon* av sølvsulfid, støter man på visse vanskeligheter. Ved anvendelse av sublimatopløsninger vil der utskilles kalomel. Ferrosulfat er et reduksjonsmiddel som ikke gir dette, men det viser sig, at sølvsulfid med sublimat og ferrosulfat sammen ikke gir det minste sølv; hvorfor vet jeg ikke. De få forsøk jeg gjorde, finnes i tabell 25. I intet tilfelle blev der dannet trådsølv.

Sølvsulfid og kobbersaltopløsninger.

Kvikksølvsaltopløsninger angriper sølvsulfid fordi de ved dobbelt omsetning danner det tyngre opløselige zinnober. Kobberkloridopløsninger angriper også, som tabell 24 viser, sølvsulfid, men derved dannes sølvklorid, og ved de videre forsøk kunde jeg vente å få dannet et uopløselig bunnfall av kuproklorid, hvilket vilde være meget generende for forsøkene. Til de videre forsøk foretrakk jeg derfor å anvende kobbersulfat, til tross for at et forsøk hadde vist at dette hadde liten eller ingen virkning på sølvsulfid. Vel er begge kobbersulfidene lettere opløselig i vann enn sølvsulfid; imidlertid vil et sulfid som i sig selv er lettere opløselig enn sølvsulfid, men som er isomorft blandbart med dette, delvis felles av en opløsning som

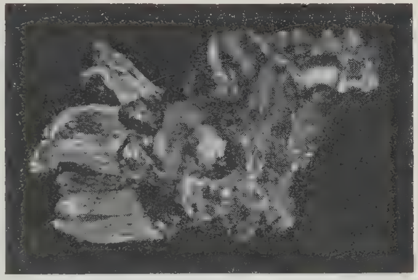


Fig. 9. Naturlig trådsølv. × 2.

holder sulfidets kation, idet disse ioner fortrenger sølvioner av sølvsulfidgitret. Dette vil raskt føre til en likevekt, med bare ganske lite sølv i opløsningen. For at prosessen skal kunne fortsette, må de opløste sølvioner fjernes av opløsningen ved et reduksjonsmiddel. Hvis de to prosesser — det fremmede ions inntrengen og sølvionenes (eller iallfall sølvets) bortvandring, fremtrengen til sulfidets overflate og utfelling som fritt sølv — er lokalt adskilt, måtte det hele kunne resultere i tråddannelse.

Det eneste sulfid som viser nogen sådan isomorfi med sølvsulfid, er kuprosulfid. Jeg kan henvise til et arbeide av C. Tubandt, H. Reinhold og W. Jost (131), hvori de viser, at når et stykke sølvsulfid og et stykke kuprosulfid berører hverandre, skjer diffusjonen av sølv over i kuprosulfidet og omvendt raskt allerede ved 150°. I fast tilstand er de blandbare i alle forhold (sammenlign dog G. M. Schwartz (107) som fant at ved høiere temperatur løser sølvsulfid iallfall 20% kuprosulfid).

For å få trådsølv må man altså ha en opløsning som holder kuproioner, eller som ialfall er i stand til å danne sådanne under passende („naturlige“) betingelser. Det nødvendige reduksjonsmiddel for sølv kan da være selve kuproionet, eller der kan være et annet reduksjonsmiddel til stede. Nu er det ikke lett å skaffe sig rene kuprosaltopløsninger, iallfall ikke når de ikke skal være sterkt sure. Men *litt* kuproioner kan man få dannet under nogenlunde naturlige betingelser, nemlig ved de side 63 nevnte ionelikevekter. Ferrosalter leverer i kobbersaltopløsninger virkelig en del kuproioner. Det er vist flere ganger (H. N. Stokes (114, 115); G. S. Nishihara (86); E. G. Zies

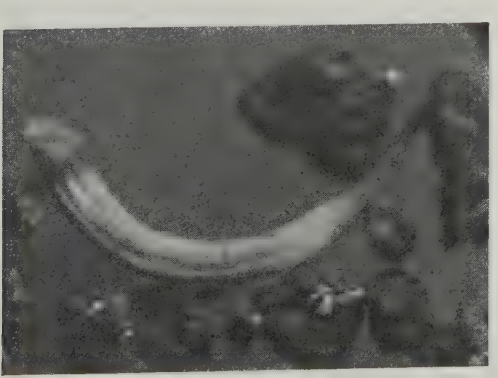


Fig. 10. Trådsølv av kunstig sølvsulfid. × 40.

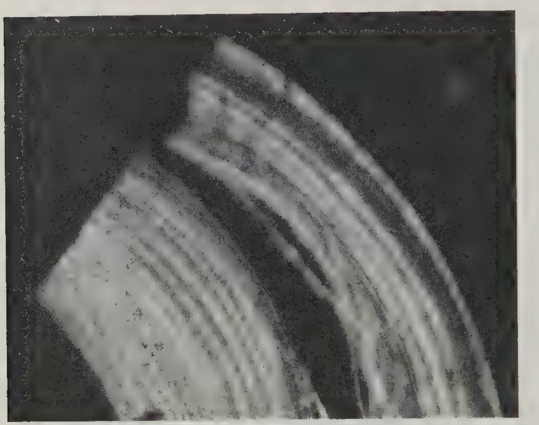


Fig. 11. Bundt av tynne tråder kunstig av naturlig sølvglans. × 40.

og medarbeidere (144)); ved 2—300° dannes derved kuprooksyd og ennog metallisk kobber, mens jernet samtidig går over til treverdig.

Forsøk med tråddannelse med kobbersaltopløsninger (0,5 g sølvsulfid, samlet væskevolum 50 ml, ca. 20 timer, 130° — tabell 26) viser da også, at mens svovelsyre (som nemlig dannes ved hydrolyse av ferrisaltopløsningene), ferrosulfat, kobbersulfat og jernammoniumalunopløsninger hver for sig i løpet av ca. 20 timer ved ca. 130° virker lite eller intet på sølvsulfid, gir en blanding av kobbersulfat og ferrosulfat en rask og rikelig dannelse av metallisk sølv, og dette sølv er av utseende fullstendig likt det naturlige trådsølv (fig. 9—11).

Trådene, som kan være over millimeterlange, synes å vokse op av sulfidet, de brekker lett av ved basis uten at de kan ses å fortsette ned i sulfidet; de har den karakteristiske krumning, og de deler sig op på samme måte som det naturlige trådsølv.

Tabellen viser, at forsøk med å anvende natriumformiat som reduksjonsmiddel ikke førte til noget, fordi derved dannes ikke kuproioner, så sulfidet forblir intakt. Grovkrystallinsk, både naturlig og kunstig sølvglans, gir tråder like lett som det pulverformige. Ved almindelig temperatur skjedde derimot intet, selv i løpet av meget lang tid.

Prosessen er i det hele ganske rask. Ved koking av sølvsulfid i et par timer i en opløsning som er ca. 0,1 molar på ferrosulfat og 0,02 molar på kobbersulfat får man smukke tråder. — Efter ovenstående skulde man vente, at sølvsulfidet efter tråddannelsen holdt litt kobber. Sølvsulfidet fra ett av forsøkene blev vasket, først med fortynnet svovelsyre for å fjerne ethvert spor av basiske kobbersulfater og derefter med vann. Efter opslutning i konsentrert svovelsyre og utfelling av sølv som klorid kunde der i opløsningen påvises litt kobber.

Tabell 26.

Forsøk til tråddannelse ved kobberholdige opløsninger.

Opløsning	Molaritet	Tid timer	Anmerkning
Kobbersulfat 25 ml...... Natriumformiat 25 ml ...	0,04 0,04	20	Intet skjedd
Kobbersulfat 25 ml ..... Ferrosulfat 25 ml	0,04 0,2	20	Millimeterlange, typiske sølvtråder
Kobbersulfat 25 ml ..... Ferrosulfat 25 ml	0,004 0,04	15,5	Sølv som krystallinske flekker. Tvilsomt om tråder er dannet
Kobbersulfat 25 ml ..... Ferrosulfat 25 ml	0,5 0,04	15,5	Intet sølv dannet i det hele
Kobbersulfat 25 ml ..... Ferrosulfat 25 ml	0,04 0,5	15,5	Halvmillimeterlange, typiske sølvtråder
Kobbersulfat 25 ml ..... Ferrosulfat 25 ml	0,04 0,2	19,5	Er en gjentagelse av det annet forsøk, med samme resultat, men med grovkrystallinsk sulfid
Kobbersulfat 25 ml ..... Ferrosulfat 100 ml	0,08 10%-ig		Opbevart 343 dager ved alm. temp. Intet skjedde. Sulfidet var naturlige sølvglanskrystaller
Kobbersulfat 25 ml ..... Ferrosulfat 25 ml	0,04 0,2	19,5	Er en gjentakelse av det annet forsøk, men med naturlig sølvglans, og samme resultat: vakre tråder
Kobbersulfat 25 ml ..... Sølvsulfat 25 ml	0,04 ca. 0,04	19,5	Ingen tråder, men rikelig dannelse av sølvkrystaller

Hvor annet ikke er anført, er anvendt syntetisk sølvsulfid, 40—80 mesh.

Forsøket med kobberklorid i tabell 24 viser at dette angriper sølvsulfid ganske kraftig. Forklaringen er vel at det lille sølv som går i opløsning, felles som klorid før nogen likevekt har innstillet sig, således at nye mengder sølv må opløses fra sulfidet.

I tabell 27 gjengir jeg nogen forsøk som ikke er utført i lukkede rør, ved almindelig temperatur eller ved ophetning til 100° i vannbad. Det første forsøk i denne tabell viser at tråddannelsen hindres ved tilsetning av natriumklorid, under betingelser som ellers har vist sig gunstige. Hvorvidt dette nærvær av klorider har virket ugunstig i naturen, er uvisst; der kan det iallfall ikke ha kommet til utskillelse av sølv eller kobber som klorider. I de øvrige forsøk i tabellen har jeg forsøkt å få kobbersulfatopløsninger til å levere kuproioner uten å tilsette et annet metall, nemlig ved metallisk kobber, eller, da dette ikke finnes på Kongsberg, ved metallisk sølv, som jo også løses, om enn i ringe mengde, i kobbersulfat (sammenlign side 64). Metallene er anvendt som små spiraler som er nedsenket i væsken uten å

Tabell 27.

Kobbersaltholdige opløsningers innvirkning på sølvsulfid.

Opløsning	Konsentrasjon	Tid	Temperatur	Anmerkning
Kobbersulfat Ferrosulfat Natriumklorid	0,04 molar 0,36 » 5 %	10 timer	100	Meget sølvklorid, intet sølv
Kobbersulfat Svovelsyre Kobberspiral	5 % 5 %	2 »	100	En mengde meget fine sølvkrystaller utskilt
Kobbersulfat Svovelsyre Kobberspiral	0,4 » 0,4 »	150 dager	20	En mengde grove sølvkrystaller utskilt på sulfidet
Kobbersulfat Svovelsyre Kobberspiral	0,5 % 0,5 %	150 »	20	Som foregående
Kobbersulfat Sølvspiral	0,04 »	20 timer	130	Litt sølv dannet som små krystaller på sulfidet. Litt sølv i opl.

berøre sulfidet. Det blev alltid dannet en del sølv, men ikke i form av tråder. Krystallene var størst ved lavere temperatur. At jeg her ikke fikk trådsølv, kan muligens skyldes at tråddannelsen er betinget av et visst forhold mellem vandringshastigheten for sølvet i sulfidet og hastigheten av de reaksjoner som foregår på sulfidets overflate og at det i disse forsøk ikke er lykkedes å holde dette forhold innen de gunstige grenser (sammenlign H. W. Kohlschütter). — For siste forsøk i tabell 27 må jeg gjøre opmerksom på at den utskilte sølvmengde er mange ganger så stor som den som måtte utskilles av kobbersulfatopløsningen ved dennes avkjøling.

Foranstående forsøk viser at trådsølvdannelse kan komme i stand ved kuproionholdige opløsningers innvirkning på sølvsulfid. Det er ikke sikkert at trådsølvet i naturen er dannet på denne måten. Et stykke sølvglans med rester av påsittende tråder, fra Kongsberg, viste sig nemlig å være fullstendig kobberfritt; hvilket dog også kan tilskrives, at det dannede kuprosulfid er fullstendig fortrengt av sølvopløsninger samtidig med eller efter trådsølvdannelsen — sammenlign det side 10 nevnte forsøk med sølvsulfat og kobberholdig sølvsulfid. Men resultatene turde iallfall vise at det billede jeg har forsøkt å gi av hele mekanismen ved prosessen (side 81 ff.) er riktig; ikke minst fordi de i tabell 26 nevnte forsøk blev gjort netop ut fra den nevnte tankegang.

Sølvsulfid og antimonsaltopløsninger.

Forsøket (i tabell 24) med opheting av sølvsulfid i en opløsning av kaliumantimonyltartrat gav som resultat at sølvsulfidet derved omkrystallisertes under dannelse av lange (henimot millimeterlange) tynne krystaller som vel er betasølvsulfid. Dette, og den omstendighet, at antimonglans (tabell 5, side 23) av sølvsulfatopløsninger feller en del metallisk sølv i form av tråder, viste at antimon måtte kunne spille en eller annen rolle ved tråddannelsen.

Jeg har her, likesom tidligere, måttet ty til det kunstgrep å holde antimonet i opløsning som kaliumantimonyltartrat. Derved blir antimonet for den aller største del komplekst bundet, og man kunde innvende, at den erholdte tråddannelse skyldtes dette kompleks, eller vinsyren. Jeg vil da påpeke, at jeg også har fått tråder uten vinsyre i nogen forsøk — som i det nevnte med antimonglans.

Antimonsulfid viser, i motsetning til kuprosulfid, ingen blandbarhet med sølvsulfid. Følgende forsøk viser, at de to ikke diffunderer i hverandre, men derimot lett reagerer med hverandre i fast fase:

En presset cylinder av sølvsulfid og en sammensmeltet cylinder av antimontrisulfid blev presset sammen ved hjelp av en sølvklemme (*sølv*klemme for å hindre at sølvsulfidet blev spaltet ved termisk dissosiasjon, kombinert med sulfidering av metallet i klemmen). Det hele blev ophetet i vakuum i fire døgn til 325°. De to cylindre hang efterpå sammen, hvilket skyldtes, at der mellem dem var dannet et lag av en krystallinsk forbindelse med sterkt rød strek (sikkert Ag_3SbS_3, da dette, foruten miargyritt, er det eneste av de mange kjente sølvsulfoantimoniter som lar sig fremstille ved høiere temperatur (62); sammenlign dog K. Konno (71). I antimonsulfidcylinderen lot sig ikke påvise det minste sølv, og omvendt i sølvsulfidcylinderen intet antimon. At det ved den nevnte omkrystallisasjon heller ikke dannes nogen antimonforbindelse, viste jeg som følger:

1 g sølvnitrat blev i vandig opløsning felt med svovelvannstoff. Det grundig utvaskede bunnfall blev ophetet i 5 timer til 100° i 50 ml 0,4-molar kaliumantimonyltartratopløsning. Produktet var et grått, finkrystallinsk *pulver*; man får ellers aldri sølvsulfid som pulver ved opheting med vandige opløsninger. Det blev vasket ut, kokt med kaliumtartratopløsning og atter vasket med vann, og tørret ved almindelig temperatur. Var mikroskopisk fine nåler med mørk metallglans. Mikrokjemisk titrering viste 0,28% antimon og 86,4%

sølv (mot teoretisk for rent sølvsulfid 87,06%). Dette antimoninnhold er altfor lite til at det kan være tale om en antimonforbindelse.

Ved å ophete frisk felt sølvsulfid i to timer til 100° i 0,04-molare opløsninger av arsenikk, kalilut, sinksulfat, nikkelsulfat, kobbersulfat eller natronlut skjedde ingen slik omkrystallisasjon, mens en tilsvarende opløsning av kaliumantimonyltartrat eller av kalilut hvori der var løst litt antimontrioksyd ved under en times opheting til 100° gav fullstendig omkrystallisasjon til et grått pulver. Opheting av frisk felt sølvsulfid i rent vann i 6 timer til 130° gav ingen synlig omkrystallisasjon; sølvsulfidklumpene var fremdeles matt gråsorte, mens i et parallellforsøk med 0,04-molar kaliumantimonyltartrat var omkrystallisasjonen til nåler da fullstendig og forresten allerede før ophetingen synlig efter nogen timers henstand ved almindelig temperatur.

Tabell 28.

Antimonholdige opløsningers innvirkning på sølvsulfid.

Opløsning	Molaritet	Tid timer	Temperatur	Anmerkning
SbOKT 25 ml....... HCOONa 25 ml.....	0,04 0,04	44	100	Uforandret
SbOKT 25 ml....... $FeSO_4$ 25 ml........	0,04 0,04	44	100	Uforandret
SbOKT 25 ml....... Ag_2SO_4 25 ml.... ca.	0,04 0,04	44	100	Litt sølv som små tråder
SbOKT 25 ml....... $CuSO_4$ 25 ml	0,04 0,04	44	100	Intet sølv
NaOH mettet med Sb_2O_3 50 ml	0,1	20	130	Intet sølv
NaOH mettet med Sb_2O_3 25 ml ...... NaF 25 ml..........	0,04 0,04	44	100	Uforandret
NaOH mettet med Sb_2O_3 25 ml .... $NH_2OH.\ H_2SO_4$ 25 ml	0,04 0,04	44	100	Uforandret
SbOKT 25 ml .... $N_2H_4.\ H_2SO_4$ 25 ml ..	0,04 0,04	44	100	Uforandret
SbOKT 25 ml....... $FeSO_4$ 25 ml........	0,04 0,2	44	100	Uforandret

Resultatet av en del forsøk med antimonholdige opløsninger og sølvsulfid finnes i tabell 28. Forskjellige reduksjonsmidler tilsatt antimonopløsningene viste sig å være uten virkning. Eiendommelig er det også at kaliumantimonyltartrat alene ikke reduserer sølvsalter, hvilket antimontrioksyd gjør, idet der ved 18 timers opheting til ca. 145° blev dannet en del metallisk sølv. Også antimonglans leverer jo adskillig metallisk sølv. Det eneste av forsøkene i tabell 28 som gav tråder var det hvor antimonopløsningen var tilsatt sølvsulfat. Jeg skal senere nevne forsøk hvor jeg ved hjelp av antimon har fått dannet adskillig trådsølv.

I ett av forsøkene i tabell 28 var der tilsatt natriumfluorid. Som man ser falt også dette forsøk negativt ut.

Når sølvsulfid omkrystalliserer av antimonholdige opløsninger kan det bare skyldes at det deri har en større opløselighet enn i rent vann. Som en mulig forklaring, som kan bringe dette i relasjon til tråddannelsen ved antimonopløsninger, skal her bare antydes at også dette i siste instans skyldes sølvets bevegelighet i sølvsulfidgitteret. Også her beveger sølvionene sig bort fra visse steder i gitteret mens svovelet bindes (komplekst?) i ringe utstrekning til antimon. Da burde et passende reduksjonsmiddel kunne gi tråddannelse.

Tråddannelse ved andre elementer.

Som tabell 24 viser, er de fleste andre prøvede elementer i vandig opløsning uten innflytelse på sølvsulfid. Jeg har derfor ikke gjort nogen forsøk med dem. Mange forsøk lar sig heller ikke utføre. Således vil arsen sammen med andre elementer bare felle disse som arsenater eller arseniter; treverdig jern, som virker på sølvsulfid, vil bare løse dette og derfor ikke kunne gi trådsølv; ordentlige forsøk med fluorholdige opløsninger har jeg ikke hatt anledning til å utføre. — Et enkelt forsøk med å ophete sølvsulfid med 25 ml 0,04-molar nikkelsulfat plus 25 ml 0,2-molar ferrosulfat i 20 timer til 130° resulterte i intet.

Foruten tråddannelser som skyldes tidligere dannet sølvsulfid måtte sådan også kunne komme i stand ved sølvholdige opløsningers innvirkning på andre sulfider, via det derved primært dannede sølvsulfid. Dette dannes jo alltid.

Da tråddannelsen er en reduksjonsprosess, og opløsningen ikke kan (iallfall ikke ved forsøkene) holde noget reduksjonsmiddel sammen med sølvet (for da vilde jo dette øieblikkelig falle ut som krystaller), må den anvendte kis enten selv holde et reduksjonsmiddel for sølv, slik at dette går i opløsning eftersom sølvet felles som sulfid, eller kisen må iallfall ved sin opløsning forandre væskens sammensetning på en sådan måte at den nu blir i stand til å felle sølv.

Resultatene av en rekke forsøk med sølvopløsningers innvirkning på kiser finnes i tabell 5. Antimonglans (både naturlig og syntetisk) gav derved, som tidligere nevnt, trådsølv; også koboltglans, som jo er et arsenmineral, gav ved siden av sølv i forskjellige krystallformer også litt tråder. Det er dog mulig at dette henger sammen med et lite antimoninnhold hos koboltglansen, hvilket jeg har været avskåret fra å få bekreftet ved analyse. — Videre gjorde jeg nogen forsøk med kiser og de elementer som hadde vist sig å kunne gi tråder, nemlig kobber og antimon.

Ved forsøk med kobber valgte jeg kiser som inneholder et reduserende metall.

Ved forsøk med antimon fant jeg ikke dette nødvendig (det var jo igrunnen, som jeg senere opdaget, ikke påkrevet hos kobber heller) da det viste sig at det treverdige antimon selv delvis var i stand til å redusere sølv.

Nogen kiser gir jo også metallisk sølv uten å være reduserende. Forsøkene med kobber blev imidlertid utført før forsøkene med kisenes reduserende evne. —

Forsøkene med tråddannelse av kiser og kobberholdige sølvopløsninger finnes i tabell 16, side 42. Trådsølv var bare dannet hos antimonglans, som jo leverer dette også uten nogen kobbertilsetning.

Forsøkene med tråddannelse av kiser og antimonholdige sølvopløsninger finnes i tabell 17, side 43. Som man ser er i samtlige de forsøk hvor metallisk sølv er dannet, dette i typisk trådform.

Endelig kunde trådsølvdannelse komme i stand ved innvirkning av en opløsning som inneholder ett av de nevnte elementer (kobber, antimon) på en mekanisk blanding av to kiser. Opløsningen måtte da enten selv holde sølv, eller en av kisene måtte være sølvsulfid. Reaksjonen kommer da i stand ved at en av kisene (eller begge) opløses, således at opløsningen får den sammensetning som er nødvendig for at den av sølvsulfid kan gi sølv. Dette sølvsulfid er da enten ferdigdannet på forhånd, eller det dannes under reaksjonen. Det antall kombinasjoner som her kunde prøves er meget stort; men de har ikke så stor interesse (en blanding av to kiser er ikke almindelig på Kongsberg). De få forsøk jeg har gjort finnes i tabell 29. De er gjort slik at pulvere av de to kiser (hvorav den ene alltid var duktil) av kornstørrelsen 40—80 mesh er presset sammen, og ca. et halvt gram av blandingen er ophetet i opløsningen i et bomberør til 130° i 20 timer. Jeg fikk virkelig trådsølv i ett av de fire tilfelle.

Tabell 29.

Mineral	Opløsning	Molaritet	Anmerkning
Covellin .... Magnetkis ...	Ag_2SO_4	0,04265 normal	Alt sølv felt. Flere mm lange „tre“
Sølvglans ... Covellin	$FeSO_4$	0,1	Uforandret
Sølvglans ... Kobberglans .	$FeSO_4$	0,1	Uforandret
Sølvglans ... Magnetkis ...	$CuSO_4$	0,04	En del tråder, ellers intet sølv. Intet sølv i opl.

Foruten at trådsølv kan være dannet i naturen på lignende måter som de jeg har fått det til på, kan det være at det også kan dannes av opløsninger som de jeg i det foregående har nevnt at jeg ikke kan fremstille. Og når jeg ofte ikke har fått dannet tråder på mange måter hvor man skulde vente å få det efter de forklaringsmuligheter jeg har antydet, behøver dette ikke å skyldes annet enn at jeg ikke har kunnet opnå det samspill mellem vandringshastighet for sølvionene (eller iallfall sølvet), reduksjonshastighet, polarisasjon og passivering som sikkerlig er nødvendige. Også på Kongsberg foreligger der ikketrådsølv som synes å være dannet ved reduksjon av sølvglans!

Jeg prøvet om den tidligere omtalte overføring av sølvsulfid i sølv ved sølvsulfatopløsning kunde utnyttes til dannelse av trådsølv, eventuelt under katalytisk innvirkning av kobbersulfat. Sølvsulfid i sølvsulfatopløsning gav jo bare ganske lite metallisk sølv; var opløsningen ytterligere tilsatt kobbersulfat blev metallisksølvmengden betydelig større (vel fordi kobberet i sin enverdige form lett trenger inn i sølvsulfidet). (Smlg. siste forsøk i tabell 26, side 87). Jeg ophetet derfor sølvsulfid i en opløsning som inneholdt sølvsulfat, kobbersulfat og kaliumantimonyltartrat i lukket rør til 130° i et par dager, og fikk derved dannet ganske meget typisk trådsølv.

Pointet ved dette er at her kan kobber og antimon ikke felles som sulfider så lenge der ennu er sølv igjen i opløsningen (da de jo straks fortrenges av sine sulfider av dette). De er bare til stede som katalysatorer, mens det er selve sølvopløsningen som forbrukes. Og de tre elementer er blandt de som vel har været til stede i selve de sølvavsettende opløsninger. Trådsølvdannelsen kan efter dette kanskje tilskrives de sølvavsettende opløsninger selv, og kan være foregått umiddelbart efter sølvglansens dannelse; de forandringer i opløsningene som må til for at de istedetfor å utskille sølvsulfid skal kunne redusere dette behøver ifølge det tidligere nevnte neppe ha været betydelige.

Konklusjon: Forannevnte forsøk viser at det på Kongsberg forekommende trådsølv er dannet ved vandige opløsninger, som foruten sølv må ha holdt andre tunge metaller i opløsning, således at nærvær av disse synes å være betingelsen for at trådsølvdannelsen kan komme i stand. Opløsningene har innvirket på sølvsulfid eller andre naturlige sulfider ved temperaturer som gjerne kan ha været under 100°. Derved kan man på en utvungen måte gjøre regnskap for trådsølvets „vekst“ både på sølvglans og andre kiser. Ved forsøkene er det også lykkedes å få dannet trådsølv på kiser på hvilke det ikke er funnet å sitte i naturen.

English Summary.

This investigation is a discussion of the different chemical reactions which may have caused the deposition of the silver ores (mainly native silver with some argentite) in the silver-containing veins at Kongsberg, in south-eastern Norway. The most characteristic feature of this deposit is the occurrence of silver in the veins at the points of intersection with certain thin ore (chiefly pyrrhotite) filled fissures — the "cross rule".

It is probable, or at least not improbable, that the dominating constituents of the silver-containing solutions have been the alkali and earth alkali metals combined as carbonates, sulphates and chlorides. A number of ore metals (silver, copper, mercury, bismuth, arsenic, antimony, lead, cobalt, nickel, manganese and zinc) have been present in rather low concentrations, also fluorine, silica etc. It is likely that small amounts of sulphur have been present as sulphide in the solutions. Experiments (table 1; fig. 1) show that by heating

solutions of hydrogen sulphide and alkali sulphide to 130° C., the latter is not changed, and that hydrogen sulphide is completely decomposed. Neither react with metallic silver. This shows that hot solutions containing sulphur ions must be alkaline, and that silver can be deposited in the metallic state from solutions containing sulphur ions. — Resulphidation of the native silver is sometimes observed. This must either be due to an anodic oxidation of the silver, or, as shown by experiments, to an oxidation by alkaline solutions of antimony pentasulphide. Pentavalent arsenic has no such effect.

The temperature of the precipitation of silver is not easily determined; certain signs indicate a rather low temperature, probably not much higher than 100° C. As temperature for the experiments I have therefore chosen 130° C.

The precipitation of the silver from the solutions may take place in four different ways: 1: by reaction with older minerals in the veins or the adjacent rock, 2: by electrolysis, 3: by reaction through mixing of the silver-containing solutions with other solutions, and 4: by reactions going on in the silver-containing solutions themselves.

Ad 1: Precipitation may be caused by various minerals such as a. sulphides, b. oxides and c. silicates.

The silver precipitating capacity of the sulphidic minerals was investigated in the following way.

Pure minerals (a few of them synthetic) were used. They were powdered and the fractions of the powders which passed a 40 mesh screen but were caught on an 80 mesh screen were used. 1,000 or 0,500 g of this fraction was treated in 50 ml almost saturated silver sulphate solution at 130° C for 20, more seldom for 6 or 2, hours.

The results are reproducible with an accuracy which is sufficient for the purpose of this investigation (table 2).

The silver amounts precipitated are proportional to the used weigths of the minerals i. e. with the mineral surface exposed to the silver solution (table 3).

The results are mostly independent of the origin of the mineral (table 4).

The pure sulphides can be arranged according to their capacity as silver precipitants in a series (table 5) which is roughly paralel to the series in which they can be arranged according to their solubility or sulphur ion activity (table on p. 41). This, and also the fact that this property runs paralel with their copper precipitating capacity or their ability to reduce trivalent iron or pentavalent arsenic in aqueous solutions (table 6), shows that it is chiefly the solubility (or, more correctly, the velocity of solution) which determines the rate of silver precipitation. — All the sulphides give silver sulphide, and some of them give metallic silver as well. In some cases this can be easely explained: the dissolved cationes from the sulphides are able to reduce silver from its solutions to the metallic state (e. g. pyrrhotite, chalcopyrite, stibnite). Formation of metallic silver by e. g. galena or bismuthinite must be explained by an oxidation of the sulphur ion to the sulphate radical through the silver ion. Argentite too can be oxidized in this way through silver sulphate solutions to metallic silver; this seems to indicate that the phenomen can be explained by formation of "local elements" on the surface of the sulphides.

Minerals of the arsenopyrite type, arsenides etc. also show considerable ability as silver precipitants (table 7).

A discussion, aided by experiments, (tables 8—15 and fig.s 3—6) shows that the relation of the silver amount precipitated (p mg) to the time of the experiment (t hours) and the initial concentration (m_0 mg per 50 ml) is given by the equation:

$$k = \frac{m_0}{t}\left(ln\,\frac{m_0}{m_0 - p} \div \frac{p}{m_0}\right)$$

where k is a constant for a certain mineral with a certain surface. From the formula it can be deduced that silver precipitation after some time (e. g. a year) will be a very slow process even from relatively concentrated solutions. Precipitation is not proportional to the concentration of the solutions. Even from comparatively diluted solutions (1/250-th normal) precipitation is a rapid process. Pyrrhotite differs from the other sulphides investigated: its precipitating ability is only to a small degree dependent on the concentration of the silver solutions, and does not decrease with the time of heating.

Addition of copper sulphate to the silver solution has no significant influence on the results (table 16).

Addition of potassium-antimonyl-tartrate to the silver solutions has a somewhat greater, but no very important, influence on the precipitating qualities of the sulphides (table 17). It is remarkable that when metallic silver was formed it always exhibited a strong semblance to the natural filiform silver.

The oxides magnetite and ilmenite are rather strong silver precipitants (table 18).

It is doubtful whether the silicates have been able to precipitate silver in any form under the conditions of the formation of the deposit. No conclusions can be drawn from the experiments.

Addition of sulphuric acid to the silver sulphate solutions has no great effect on the silver precipitating ability of the sulphidic ores (tables 19, 20). A discussion reveals the improbability of alkaline extracts of the sulphur from the natural sulphides playing any rôle in the formation of the deposit (table 21).

Migration of silver and/or sulphur in the state of colloidal solutions of the silver sulphide is not a process likely to occur under natural conditions. Sulphidic ores have but an insignificant precipitating effect on sols of silver sulphide, whereas calcite from the silver veins causes the colloid to settle almost immediately. This gives conditions exactly opposite to those which are to be supposed if migration of such a colloid should explain the distribution of the silver according to the "cross rule".

The conclusion which can be drawn from the discussion of the experiments mentioned is: the deposition of silver at Kongsberg can hardly be caused by any direct reaction between the silver containing solutions and the sulphur compounds of the fahlbands or with any other minerals in the field.

Ad 2. The theory of electrolytic deposition of the silver seems to encounter certain difficulties. The formation of argentite and other silver-sulphur compounds can hardly be explained in this way. It also seems difficult to account for a reasonable electrical circuit. Finally the theory is hardly in accordance with the actual distribution of the silver in the veins.

Experiments were carried out with the purpose of determining the effect on the precipitating ability of the ores of the electrolytic potentials which exist between two ores in a solution. A mixture of 0,5 g of the powders of two sulphides was heated for 6 hours in silver sulphate solution to 130° C (tables 22, 23). No important change in the precipitated amount of silver could be noted, and the products formed were identical with those formed when a single sulphide is thus treated.

Ad 3. It is obvious that deposition of silver may take place by contamination of a silver containing solution with another solution, but the peculiar distribution of the silver along the veins can hardly be explained in this way. There is a possibility that organic substances occurring in the veins have been carried in a solution other than the one which brought the silver. Experiments proved that these substances have a strong reducing effect on silver solutions. In a single experiment, carried out to test the ability of the bitumen to reduce the sulphate ion to the sulphide ion, no such effect could be detected.

Ad 4. Deposition of metallic silver resulting from reactions going on in the silver-carrying solution itself must be accompanied by an oxidation of another compound, or rather element, in the solution. Displacement in an ionic equilibrium of the type:

$$n\,\mathrm{Ag}^{+} + \mathrm{Me}^{m+} \rightleftarrows n\,\mathrm{Ag} + \mathrm{Me}^{(m+n)+}$$

can perhaps explain the process. Such equilibria are possible with a series of elements, and are proved to exist in solutions of iron, copper, manganese and cobalt; and may or may not exist with arsenic, antimony and mercury. All these elements have been present in the solutions which have deposited the silver. It is reasonable to assume that the magmatic silver containing solutions have been cooled as they pass through the fissures, and that the resulting disturbance of one or more of the said equilibria has produced a deposition of native silver. The ore laminae in the fahlbands may have accelerated this cooling of the solutions. As it has been proved that their electric conductivity is far greater than that of the surrounding rock, and as their chief constituent is pyrrhotite, their thermal conductivity must have a comparatively high value. They can therefore have played an important rôle as cooling agencies. The result of such a process would certainly be a deposition of native silver in the open fissures chiefly on the intersections of these with the thin ore fissures.

The last part of the investigation is a discussion of the formation of the wellknown form of native silver called filiform silver (hairy silver, silver teeth). It is made probable that filiform silver is formed via silver sulphide, and that the ultimate cause of this formation is the free mobility of the silver ion in silver sulphide. Earlier investigators have imitated the natural filiform silver by heating silver sulphides in different forms in various gases to relatively high temperatures (as a rule above 250° C). A discussion shows that the natural filiform silver most probably has been formed at considerable lower temperatures through the action of aquous solutions.

Experiments showed that at 130° C only the solutions of mercury, trivalent iron and antimony had any perceptible effect on silver sulphide. No filiform silver could — for various reasons — be prepared by the use of solutions containing mercury or trivalent iron. Copper sulphate in diluted aquous solution does not react with silver sulphide, but as cuprous sulphide is isomorphous with silver sulphide, experiments were carried out with solutions containing cuprous ions. Beautiful filiform silver, in every respect resembling the natural wires, was obtained by the aid of such solutions.

Further experiments gave the result that whenever metallic silver is formed from a solution containing antimony in the presence of any sulphide (not necessary silver sulphide) it is filiform.

The heating of silver sulphide in a silver sulphate solution containing copper and antimony compounds resulted in the formation of filiform silver in large amounts. Here the said oxidation of silver sulphide to metallic silver by the silver ions in solution is accelerated by the copper ions, and the antimony present causes the silver thus formed to appear in wires. As the natural silver solutions have contained copper and antimony, the experiment imitates natural conditions, and shows that the formation of the filiform silver can be ascribed to the silver solutions themselves, and may have taken place immediately after the deposition of the argentite from which the natural wires are formed, great changes in the composition of the solutions being unneccessary.

Universitetets kjemiske institutt, avd. A., Oslo,
mai 1938.

Litteraturliste.

1. R. Ambronn: Methoden der angewandten Geophysik. Wissenschaftliche Forschungsberichte; Naturwissenschaftliche Reihe. Bd. *15* (1926).
2. E. F. Anthon: Über die Anwendung der auf nassem Wege dargestellten Schwefelmetalle bei der chemischen Analyse. J. prakt. Chem. *10* (1837) 353—356.
3. W. E. Barlow: The Solubility of Silver Chloride in Hydrochloric Acid and in Sodium Chloride Solutions. J. Am. Chem. Soc. *2* (1906) 1446—1449.
4. E. S. Bastin: Primary Silver Ores of South Lorraine and Cobalt, Ontario. Economic Geology *20* (1925) 1—24.
5. E. S. Bastin og F. E. Greer: Additional Data on Sulphate Reducing Bacteria in Soils and Waters of Illinois Oil Fields. Bull. Am. Ass. Petr. Geol. *14* (1930) 153—160; iflg. ref. i Geol. Zentr. bl. *42* 464.
6. G. Berg: Vorkommen und Geochemie der mineralischen Rohstoffe. (1929).
7. Berthelot: Bemerkungen über die Reaktion zwischen Wasserstoff und schwefliger Säure, etc. Ann. Chim. Phys. [7] *14* (1898) 289; ref. i Chem. Zentr. bl. *1898 II* 407.
8. A. Beutell: Zur Genese von Speiskobalt und Chloantit auf Erzgängen. Zentr. bl. Min. Geol. Pal. (1916) 471; (1919) 14.
9. Beyschlag—Krusch—Vogt: Die Lagerstätte der nutzbaren Mineralien und Gesteine. Bd. *1* (1910); Bd. *2* (1913).
10. G. Bischof: Einige Bemerkungen über die Bildung der Gangmassen. Pogg. Ann. *60* (1843) 285—296, ref. i (69, 81).
11. G. Bischof: Lehrbuch der chemischen und physischen Geologie. 2te Aufl. Bd. *3* (1866) 856—886; ref. i (133).
12. H. C. Boydell: Temperature of Formation of an Epithermal Ore Deposit. Inst. Min. Met. Bull. *331*. (1932); ref. i Geol. Zentr. bl. *50* (1933) 12.
13. H. Braune: Über Diffusion in Mischkristallen. Z. phys. Chem. *110* (1924) 147—165.
14. H. Braune og O. Kahn: Über die Ionenbeweglichkeit in festem Cuprosulfid und Silbersulfid. Z. El.-chem. *B 31* (1925) 576—581.
15. T. M. Broderick: Some Experiments Bearing on the Secondary Enrichment of Mercury Deposits. Economic Geology *11* (1916) 645—651.
16. L. Bruner og J. Zawadski: Über die Gleichgewichte bei der Schwefelwasserstoffällung der Metalle. Anz. Akad. Wiss. Krakau (1909) 267—312; ref. i Chem. Zentr. bl. *1910 I* 6.

17. A. Bugge: Gammel og ny geologi ved Kongsberg sølvverk. Norsk geol. tidsskr. *12* (1931) 123—147.

18. A. Bugge: Oversikt over inndelingen av det syd-norske grunnfjell samt om fahlbåndene i Kongsberg ertsdistrikt. Norges geol. unders. *133* (1929) 100—108.

19. A. Bugge. Rapport om Kongsberg sølvverks gruber. Bd. I (1930); Bd. II (1931). I manuskript.

20. A. Bugge: Kongsbergsølvets Genesis. Tidsskr. Kjemi Bergvesen *12* (1932) 31—33.

21. A. Bugge: Sølvforekomsten ved Kongsberg. Naturen *58* (1934) 193—202.

22. A. Bugge: Kongsberg—Bamble formasjonen. Norges geol. unders. *146* (1936).

23. A. Bugge: Flesberg og Eiker. Norges geol. unders. *143* (1937).

24. C. Bugge: Kongsbergfeltets Geologi. Norges geol. unders. *82* (1917).

25. C. Bugge: Sølvet på Kongsberg. Tidsskr. Kjemi Bergvesen *11* (1931) 33—35.

26. H. C. H. Carpenter og M. S. Fisher: A Metallographic Investigation of Metallic Silver. Trans. Inst. Min. Min. (1930).

27. G. H. Charlewood: The Nature and Occurrence of Carbonates in Veins. Economic Geology *30* (1935) 502—517.

28. J. D. Clark og P. L. Menaul: The Rôle of Colloidal Migration in Ore Deposits. Economic Geology *11* (1916) 37—41.

29. F. W. Clarke: The Data of Geochemistry. 5th. Ed. U. S. Geol. Surv. Bull. *770* (1924).

30. J. H. Collins og T. A. Readwin: Chem. News *35* (1877); ref. i (80).

31. H. C. Cooke: Secondary Enrichment of Silver Ores. J. of Geol. *21* (1913) 1—28.

32. B. Corenwinder. Compt. Rend. *53* (1861) 140.

33. C. W. Correns: Die Bedeutung der Adsorption für die Bildung syngenetischer Erzlagerstätten. Z. prakt. Geol. *32* (1924) 145—154.

34. G. Edgar og L. S. Cannon: The Equilibrium of the Reaction between Metallic Silver, Cupric Chloride in Aqueous Solution, and Solid Cuprous and Silver Chlorides. J. Am. Chem. Soc. *44* (1922) 2842—2849.

35. E. Einecke: Studien an Elektrosilbersolen. Z. El.-chem. *39* (1933) 126—131.

36. W. H. Emmons: The Enrichment of Ore Deposits. U. S. Geol. Surv. Bull. *529* (1913).

37. W. H. Emmons: The Enrichment of Ore Deposits. U. S. Geol. Surv. Bull. *625* (1917).

38. T. Erdey-Grúz: Über das elektrolytische Wachstum der Metallkristalle. Z. phys. Chem. *172* (1935) 157—187.

39. K. Fischbeck: Über die unabhängige Beweglichkeit von Ionen und Atomen in festen Stoffen. Z. anorg. allg. Chem. *201* (1931) 177—187.

40. F. Foreman: Hydrothermal Experiments on Solubility, Hydrolysis and Oxidation of Iron and Copper Sulphides. Economic Geology *24* (1929) 811—837.

41. K. Friedrich og A. Leroux: Metallurg. Zeitschrift *3* f1906) 361; ref. i (69) og (80).

42. R. Gans: Wie werden Metalle von Säuren angegriffen? Z. phys. Chem. *109* (1924) 49—64.

43. Gladstone: Über die Bildung fadenförmigen Silbers. Berichte *5* (1872) 817.
44. R. Glocker og E. Kaupp: Über die Faserstruktur elektrolytischer Niederschläge. Z. f. Physik *24* (1924) 121.
45. W. M. Gortikow og N. P. Malinowskaja: Elektrokinetisches Potential der natürlichen Calciumcarbonate. Chem. Zentr. bl. *1937 I* 2563.
46. V. H. Gottschalk og H. A. Buehler: Oxidation of Sulphides II. Economic Geology *7* (1912) 15—34.
47. F. F. Grout: On the Behavior of Cold Acid Sulphate Solutions of Copper, Silver and Gold with Alkaline Extracts of Metallic Sulphides. Economic Geology *8* (1913) 407—433.
48. F. F. Grout og H. J. Conhaim: The Rate of Secondary Enrichment by Acid Waters. Economic Geology *20* (1925) 289—291.
49. J. W. Gruner: Solubilities of Metallic Sulphides in Alkali Sulphide Solutions. Economic Geology *28* (1933) 773—777.
50. F. N. Guild: A Microscopic Study of the Silver Ores and their Associated Minerals. Economic Geology *12* (1917) 297—353.
51. O. Haehnel: Über die Löslichkeit der Carbonate des Strontiums, des Bariums und der Schwermetalle in Wasser unter hohen Kohlendioxyddrucken sowie über die Eigenschaften solcher Lösungen. J. prakt. Chem. *108* (1924) 187—193.
52. F. L. Hahn: Über den Verlauf der Reaktion zwischen Silber und Sulfid. Z. anorg. allg. Chem. *99* (1917) 118—122.
53. Handbuch der Experimentalphysik. Geophysik. 3. Teil: Angewandte Geophysik (1930).
54. R. J. Haüy: Min. *4* (1801) 401.
55. A. Helland: Bergbeg, Anthracit og nogle andre kulholdige Mineralier fra Ertsleiesteder og Granitgange. Geol. För. i St.hlm. Förh. *2* (1875) 513—522.
56. A. Helland: Om Kobolt- og Nikkelertsenes Forekomst i Norge. Arch. f. Math. og Nat.v.skab *4* (1879) 188.
57. F. Hermann: Mangan in magmatischen Bildungen. Z. prakt. Geol. *43* (1935) 140—142.
58. C. Hintze: Handbuch der Mineralogie. Bd. I. Teil I. (1904).
59. Hittorff: Über das elektrische Leitungsvermögen des Schwefelsilbers und Halbschwefelkupfers. Pogg. Ann. *84* (1851) 1—28.
60. A. Holter: Uttalelser om sølvforekomstene paa Kongsberg. Tidsskr. Kjemi Bergvesen. *11* (1931) 2—16.
61. A. Holter: Sølvforekomster paa Kongsberg. Tidsskr. Kjemi Bergvesen. *11* (1931) 93—95.
62. F. M. Jaeger og H. S. v. Klooster: Studien über natürliche und künstliche Sulfoantimonite und Sulfoarsenite. Z. anorg. allg. Chem. *78* (1912) 245—268.
63. K. Jellinek og J. Zakowski: Über die Affinität der Metalle zum Schwefel. Z. anorg. allg. Chem. *142* (1925) 1—53.
64. E. Jensen: Sølvet paa Kongsberg. Tidsskr. Kjemi Bergvesen *13* (1933) 70—73; 98.
65. G. S. Johnston: Chem. News *54* (1886) 75; ref. i (24).

66. W. Jost og H. Rüter: Über die Leitfähigkeit des α-Schwefelsilbers II. Z. phys, Chem. *B 21* (1933) 48—52.

67. M. Keinert: Das System Silber-Kupfer-Mangan. Z. phys. Chem. *156* (1931) 291—303.

68. H. W. Kohlschütter: Über den Mechanismus der Haarsilberbildung auf Silbersulfid. Z. El.-chem. *38* (1932) 345—353.

69. V. Kohlschütter og E. Eydmann: Über Bildungsformen des Silbers. II. Das Haarsilber. Lieb. Ann. *390* (1912) 340—364.

70. V. Kohlschütter og A. Torricelli: Über elektrolytische Kristallisationsvorgänge IV. Versuche über Einzelkristallbildung. Z. El.-chem. *38* (1932) 213—227.

71. K. Konno: Metallographic Investigation of the System Antimony Sulfide-Silver Sulfide. Mem. Coll. Sc. Kyoto Imp. Univ.; ref. i Chem. Abstr. *15* (1921) 1099.

72. H. Leitmeier og F. Feigl: Eine einfache Reaktion zur Unterscheidung von Calcit und Aragonit. Min. Pet. Mitt. *45* (1934) 447—456.

73. J. Lemberg: Zur mikrochemischen Untersuchung einiger Minerale aus der Gruppe der Lamprite (Kiese, Glanze, Blenden) Z. dtsch. Geol. Ges. *46* (1894) 788—799.

74. G. N. Lewis, M. Randall og F. R. v. Bichowsky: A preliminary Study of Reversible Reactions of Sulfur Compounds. J. Am. Chem. Soc. *40* (1918) 356.

75. S. Lilienfeld og C. E. White: A Study of the Reaction between Hydrogen Sulfide and Silver. J. Am. Chem. Soc. *52* (1930) 885—892.

76. W. Lindgren: Mineral Deposits. 4th. Ed. (1933).

77. A. Liversidge: Über die Bildung von Moosgold und -Silber. Chem. News *35* (1877) 68—71; ref. i bl. a. (69).

78. J. Margottet: Reproduction de sulfure, séléniure et tellurure d'argent cristallisés et de l'argent filiform. Compt. Rend. *85* (1877) 1142.

79. M. Mortenson: Undersøkelse av elektrisk ledningsevne hos ertsbåndene i Kongsberg sølvverks grubefelt. Tidsskr. Kjemi Bergvesen *5* (1925) 209—213.

80. O. Mügge: Zur Kenntnis haarförmiger Kristalle. Neues Jahrb. f. Min. *2* (1913) 1—16.

81. C. A. Münster: Kongsbergsølvets sammensætning og en sekundærproces ved dets dannelse. Nyt Mag. f. Nat.v.skab *32* (1892) 266—284.

82. C. A. Münster: Kongsberg Ertsdistrikt. Skr. Vid.-selsk. Chria. (1894); I Math.-Nat. Kl. 1—124.

83. E. B. Münster: Om Hytteproduktet Sten. Arch. f. Math. og Nat.v.skab *1* (1876) 239—334.

84. W. H. Newhouse: The Time Sequence of Hypogene Ore Mineral Deposition. Economic Geology *23* (1928) 647—659.

85. W. H. Newhouse: The Composition of Vein Solutions as Shown by Liquid Inclusions in Crystals. Economic Geology *27* (1932) 419—436.

86. G. S. Nishihara: The Rate of Reduction of Acidity of Descending Waters by certain Ore and Gangue Minerals, etc. Economic Geology *9* (1914) 743—757.

87. A. A. Noyes og B. F. Braun: The Equilibrium of the Reaction between Metallic Silver and Ferric Nitrate. J. Am. Chem. Soc. *34* (1912) 1016—1027.

88. L. Opificius: Die Darstellung von gediegenem Silber auf künstlichem Wege. Chemikerzeitung *12* (1888) 649.

89. C. Palmer: Studies in Silver Enrichment. Economic Geology *9* (1914) 664—674.

90. C. Palmer: Diarsenides as Silver Precipitants. Economic Geology *12* (1917) 207—218.

91. C. Palmer og E. S. Bastin: Metallic Minerals as Precipitants of Silver and Gold. Economic Geology *8* (1913) 140—170.

92. J. Pia: Die Theorien über die Löslichkeit des kohlensauren Kalkes als Grundlage für das Verstandnis der Bildung der Kalksteine. Mitt. Geol. Ges. Wien *25* (1932) 1—93.

93. J. Pia: Kohlensäure und Kalk; etc. B. 13 av „Die Binnengewässer (1933); ref. i Geol. Zentr.bl. *52* (1934) 30.

94. A. Pinkus og M. Haugen: Über die Löslichkeit des Chlorsilbers in wässerigen Lösungen von Kalium- und Natriumchlorid. Bull. Soc. Chim. Belg. *45* (1936) 693—716; ref. i Chem. Zentr.bl. *1937 I* 4079.

95. E. Posnjak: Determination of Cuprous and Cupric Sulfide in Mixtures of one another. J. Am. Chem. Soc. *36* (1914) 2475—2479.

96. E. Posnjak, E. T. Allen, H. E. Merwin: Die Sulfide des Kupfers. Z. anorg. allg. Chem. *94* (1916) 95—138.

97. L. G. Ravicz: Experiments in the Enrichment of Silver Ores. Economic Geology *10* (1915) 368—389.

98. H. Reich: Über die elektrische Leitfähigkeit von Gesteinen und nutzbaren Mineralien. Jahrb. Preuss. Geol. Landesamt 1925. *46* (1926) 627—634.

99. H. Reinhold og H. Seidel: Die Kinetik der Bildung von Schwefelsilber aus Silber und Schwefel bzw. Schwefelwasserstoff. Z. El.-chem. *41* (1935) 499—507.

100. H. Rose: Über das Verhalten des Chlors zu. Schwefelmetallen, etc. Pogg. Ann. *42* (1837) 517—545.

101. F. Rosenkränzer: Über die Auflösung von Zinkblende und Bleiglanz in verdünnter Schwefelsäure. Z. anorg. Chem. *87* (1914) 319—334; *88* (1914) 452.

102. C. S. Ross: Physico-chemical Factors controlling Magmatic Differentiation and Vein Formation. Economic Geology *23* (1928) 864—886.

103. O. Ruff og B. Hirsch: Studien über die fraktionierte Fällung I. Z. anorg. allg. Chem. *146* (1925) 388—410.

104. R. Schenck, R. Fricke og G. Brinkmann: Untersuchungen über metallische Fasern. Z. phys. Chem. *139* (1928) 32—46.

105. H. Schneiderhöhn: Die Oxydations- und Zementationszone der sulfidischen Erzlagerstätten. Fortschr. Min. Krist. Pet. *9* (1924) 67—160.

106. E. Schürmann: Über die Verwandschaft der Schwermetalle zum Schwefel. Lieb. Ann. *249* (1888) 326—350.

107. G. M. Schwartz: Relations of Chalcocite—Stromeyerite—Argentite. Economic Geology *30* (1935) 128—146.

108. G. Shouten: Synthetic Replacement in “Open Space”. Economic Geology *29* (1934) 611—658.

109. C. E. Siebenthal: Origin of the Zinc and Lead Deposits of the Joplin Region. U. S. Geol. Surv. Bull. *606* (1915).

110. W. Skey: On the Electromotive Power of Metallic Sulphides. New Zealand Inst. Trans. Proc. *2* (1871) 232—236; ref. i bl. a. (140).

111. K. Söllner: Bemerkungen über die Entstehung des Haarsilbers und ähnlicher Bildungsformen. Kolloidzeitschrift *59* (1932) 55—58.

112. R. E. Stevens: The Alteration of Pyrite to Pyrrhotite by Alkali Sulphide Solutions. Economic Geology *28* (1933) 1—19.

113. R. E. Stevens: Study on the Alkalinity of some Silicate Minerals. U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. *185 A* (1934) 1—13.

114. H. N. Stokes: On Pyrite and Marcasite. U. S. Geol. Surv. Bull. *186* (1901).

115. H. N. Stokes: Experiments in the Solution. Transportation and Deposition of Copper, Silver and Gold. Economic Geology *1* (1905) 644—650.

116. R. Støren: Kongsberg sølvverks stufsamling som grunnlag for studiet av sølvforekomstenes dannelseshistorie. Tidsskr. Kjemi Bergvesen *11* (1931) 16—21.

117. R. Støren: Kobolt-nikkel-gedigentsølv-ganger i Kongsbergdistriktet. Tidsskr. Kjemi Bergvesen *11* (1931) 95—97.

118. R. Støren: Om Kongsberg sølvverks mineralsamlings betydning som materiale for studiet av sølvforekomstene. Tidsskr. Kjemi Bergvesen *15* (1935) 28—30.

119. R. Støren: Om platekrystaller av gedigent sølv m. m. Tidsskr. Kjemi Bergvesen *15* (1935) 124—126.

120. R. Støren: Foreløbig beretning om den nuværende undersøkelse av Kongsbergfeltets sølvmineraler og deres forekomstmåte (1936). Ca. 140 sider. Foreligger i manuskript som innberetning til Handelsdepartementet.

121. E. C. Sullivan: The interaction between Minerals and Water Solutions with Special Reference to Geological Phenomena. U. S. Geol. Surv. Bull. *312* (1907).

122. K. Sundberg: Effect of Impregnating Waters on Electrical Conductivity of Soils and Rocks. A. I. M. E. Trans. Geophys. Prosp. *1932* (1932) 367—391; ref. i Geol. Zentr.bl. *50* (1933) 456.

123. G. Tamman: Über den Ionenaustausch an der Oberfläche von Mineralien. Z. anorg. allg. Chem. *113* (1920) 149—162.

124. G. Tamman: Die Temperatur des Beginns innerer Diffusion in Kristallen. Z. anorg. allg. Chem. *157* (1926) 321—325.

125. N. A. Tanaeff: Über die Gleichgewichtsreaktion $Fe^{++} + Ag^{+} \rightleftarrows Fe^{+++} + Ag$. Z. phys. Chem. *114* (1925) 49—58.

126. G. A. Thiel: Experiments bearing on the Biochemical Reduction of Sulphate Waters. Economic Geology *25* (1930) 242—250.

127. L. Tronstad: Bemerkninger til spørsmålet om Kongsbergsølvets genesis fra elektrokjemisk standpunkt. Tidsskr. Kjemi Bergvesen *12* (1932) 15—18, 28—31.

128. L. Tronstad og T. Høverstad: Über das Becquerel-Phänomen und die Genesis des metallischen Silbers im Kongsberggebiet. Norske Vid.selsk. skr. *1933* no. 9 (1934).

129. C. Tubandt, S. Eggert og G. Schibbe: Über Elektrizitätsleitung in festen kristallisierten Verbindungen III: Über das elektrische Leitvermögen des Schwefelsilbers und Kupfersulfürs. Z. anorg. allg. Chem. *117* (1921) 1—58.

130. C. Tubandt og H. Reinhold: Über die Ionenbeweglichkeit in gut leitenden festen Elektrolyten. Z. phys. Chem. Bodensteinfestband (1931) 874—880.

131. C. Tubandt, H. Reinhold og W. Jost: Diffusion in kristallisierten Verbindungen. Z. anorg. allg. Chem. *177* (1928) 253—285.

132. J. H. L. Vogt: Norske Ertsforekomster II. Arch. for Math. og Nat.v.skab *9* (1884) 281—300.

133. J. H. L. Vogt: Über die Bildung des Silbers, besonders des Kongsberger Silbers, durch Sekundärprocesse aus Silberglanz und anderen Silbererzen — und ein Versuch zur Erklärung der Edelheit der Kongsberger Gänge an den Fahlbandkreuzen. Z. prakt. Geol. *7* (1899) 113—122, 177—181.

134. J. H. L. Vogt: Magmas and Igneous Ore Deposits III. etc. Economic Geology *21* (1926) 469—497.

135. C. Wagner: Beitrag zur Theorie des Anlaufvorgangs. Z. phys. Chem. *B 21* (1933) 25—41.

136. C. Wagner: Über die Natur des elektrischen Leitvermögens von α-Silbersulfid. Z. phys. Chem. *B 21* (1933) 42—47.

137. O. Weigel: Die Löslichkeit von Schwermetallsulfiden in reinem Wasser. Z. phys. Chem. *58* (1907) 293—300.

138. R. F. Weinland og L. Storz: Über eine Reduktion des Kupfersulfids zu Kupfersulfür auf nassem Wege. Z. anorg. Chem. *56* (1908) 429—432.

139. R. C. Wells: The Fractional Precipitation of Sulphides. Economic Geology *5* (1910) 1—14.

140. R. C. Wells: Electric Activity in Ore Deposits. U. S. Geol. Surv. Bull. *548* (1914) 1—78.

141. R. C. Wells: The Fractional Precipitation of some Ore-forming Compounds at moderate Temperatures. U. S. Geol. Surv. Bull. *609* (1915) 1—46.

142. A. R. Whitman: Diffusion in Ore Genesis. Economic Geology *23* (1928) 473—488.

143. S. W. Young og N. P. Moore: Laboratory Studies in Secondary Sulphide Ore Enrichment I. Economic Geology *11* (1916) 349—356.

144. E. G. Zies, E. T. Allen og H. E. Merwin: Some Reactions involved in Secondary Copper Sulphide Enrichment. Economic Geology *11* (1916) 407—503.

Trykt 20. januar 1939.

NOTISER

LUFTFOTOGRAMMETRIEN OG DEN GEOLOGISKE KARTLEGGING

MED 1 FIGUR

Siden Norges geografiske opmåling i 1936 tok luftfotogrammetrien i bruk ved fremstillingen av topografiske kart, har luftkartleggingen slått igjennem på flere felter her hjemme. Det er blandt annet utført kartleggingsfotografering over 1 000 km² for Røros kobberverk, og 730 km² for Løkken verk. Disse billeder er optatt i målestokk 1 : 15 000, og brukes som grunnlag for geologiske undersøkelser, under ledelse av henholdsvis professor Thorolf Vogt og dr. C. W. Carstens.

Widerøe's flyveselskap A/S har i de siste tre år utført kartleggingsfotograferinger over ca. 13 000 km² i målestokker mellem 1 : 5 000 og 1 : 40 000. Den vesentlige del av dette arbeide er utført for Norges geografiske opmåling. Da dette betydelige billedmateriale ennu ikke er kommet til anvendelse innen geologien, mener vi at tiden er inne til å diskutere om det ikke bør oprettes et bedre samarbeide mellem geologi og fotogrammetri. Norges geografiske opmåling skal innen 1950 utføre nyfotograferinger over 18 000 km². Disse felter er vesentlig beliggende i Troms, på Østlandet og Sørlandet. Man skulde tro at geologene vil kunne få stor nytte av det billedmateriale som her efter hvert vil foreligge.

I utlandet, vesentlig Schweiz og Frankrike, har man i flere år drevet geologisk kartlegging ved hjelp av fotogrammetri. De forsøk man der har drevet, har ført til en enkel og billig metode, som gir meget nøiaktigere geologiske kart på langt kortere tid enn tidligere.[1] Den mest anvendte metode er følgende: Når et område skal kartlegges fotogrammetrisk, optas en serie stereoskopiske billedstriper, ved hjelp av et spesielt kartleggingskamera. Fotograferingen utføres i samme høgdeplan, og i rette parallelle flyvebaner. Eksponeringen skjer med så korte mellemrum, at de efter hverandre følgende billeder overdekker hinannen med ca. 60 % av billedflaten. Derved får man sammenhengende stereofelter over hele det fotograferte område, således at man i stereoskop kan detaljstudere terrenget, som fremtrer i plastisk modell. Når fotograferingen er utført overleveres ett sett av kopiene til geologene, som bearbeider billedene i marken, og tegner inn sine observasjoner. Det viser sig i praksis at man arbeider meget hurtigere og nøiaktigere på billedene enn på de topografiske kart. Dertil har man den fordel at kartleggingsfotografiene gjengir terrenget mere objektivt enn de topografiske kart. Man kan således på billedene tydelig følge lagene og de forskjellige sprekkedannelser, forkastninger, vridninger m. m. Spesielt fremtrer dette tydelig i stereoskopet. Ved å kontrollere disse iakttakelser i terrenget, kan man med stor nøiaktighet legge inn grensen mellem bergartene, jordarter, kulturgrenser o. l. På grunnlag av sådanne billeder, vil man f. eks. aldri risikere å trekke forbindelseslinjer som skulde forløpe rett, mere eller mindre buet, slik som man vil kunne gjøre det på et almindelig kart, hvor kanskje beliggenheten og formen på småvatn i adskillig utstrekning kan være krokert inn mere skissemessig.

---

[1] Interesserte henvises til:

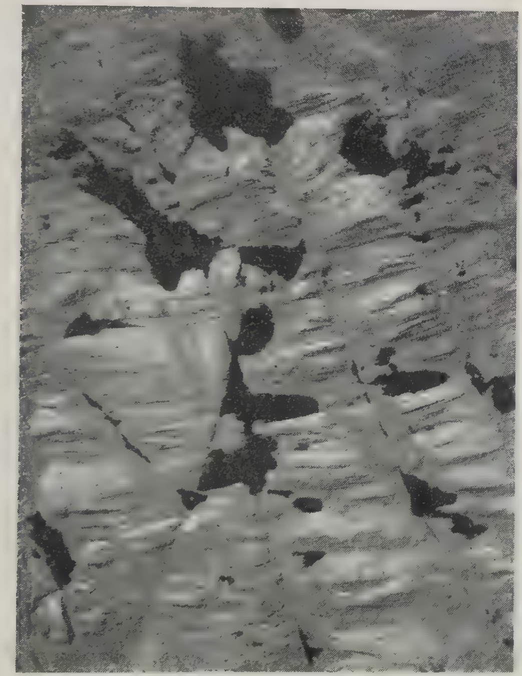
Dr. Robert Helbling:

1. Die Anwendung der Photogrammetrie bei geologischen Kartierungen. Mit einer Übersichtskarte, 20 Tafeln und 17 Textfiguren.
2. Zur Tektonik des St. Galler Oberlandes und der Glarneralpen, mit 2 Tafeln und 1 Textfigur.

Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, herausgegeben von der Geologischen Kommission der Schweizerischen naturforschenden Gesellschaft. Neue Folge, Lieferung 76. — In Komission bei A. Francke AG. 1938, Bern.

Ved hjelp av fotografiene vil man spare sig meget arbeide i terrenget, og da særlig i terreng som er sterkt opskåret og vanskelig tilgjengelig. I billedene som viser meget bart fjell, vil man kunne se bergartenes utbredelse og forløp. Har man f. eks. bergarter som optrer i lysere og mørkere lag, som står mere eller mindre steilt, vil man uten videre av fotografiene kunne ta ut deres forløp i terrenget. Med holdepunkter i direkte geologiske iakttakelser, f. eks. efter visse profillinjer, kan man under gunstige forhold, på grunnlag av billedene tegne inn det geologiske kartbillede. Der hvor fargene ikke er særlig variert, men bergartenes hårdhet er forskjellig, vil man ved et stereoskopisk studium av fotografiene kunne inntegne lagenes veksling, som her vil gi sig til kjenne i form av rygger eller senkninger i terrenget. Kartleggingsbilleder over nakne fjellpartier (se illustrasjonen), vil i det hele kunne fortelle meget om fjellmassenes struktur og historie.

Når geologene har fullført sitt arbeide i marken, begynner man konstruksjonen av kartene i de fotogrammetriske apparater. Man har her den fordel at man kan utføre grunnriss så vel som opriss, efter som det er hensiktsmessig av hensyn til terrengformasjonene. Men dette betinger at man foruten vertikalfotografiene også har optatt skråfotografier hvor det er behov for det. I konstruksjonsapparatene kan man konstruere de topografiske og geologiske kart parallelt. Derved opnår man en meget rasjonell arbeidsordning, idet den geologiske situasjon inkonstrueres på et transparentkopi av signaturkartet, efter at den topografiske situasjon for hvert billedpar er ferdigtegnet. Når billedparene først er satt inn i konstruksjonsapparatet og innpasset, er det merarbeidet som trenges for konstruksjonen av den geologiske situasjon, minimal. Da vi her hjemme er i besittelse av kartleggingskameraer av forskjellige typer, samt konstruksjonsapparater med øvet betjening, skulde man kunne anta at det vilde være hensiktsmessig om planen for geologiske undersøkelser efter hvert blev lempet efter de nye metoder, efter som billedmaterialet over uutforskede felter bringes til veie. Når Norges geografiske opmåling



Grunnfjellslandskap i Ryfylkeheiane, fot. Widerøe's flyveselskap A/S. Tillatt offentliggjort av Generalstaben den 13. oktober 1938. Målestokk 1 : 50 000, optatt fra 4 800 m høgd over havet, med Weitwinckelkamera f : 10 cm.

nu er gått over til den fotogrammetriske metode, vil man uten store omkostninger kunne disponere billedmaterialet over de områder hvor nykonstruksjon og à jour-føring skal utføres.

Overgangen til den fotogrammetriske metode vil vesentlig bli et spørsmål om et organisert samarbeide mellem alle de institusjoner som er interessert i billedmaterialet. Vi vil i denne forbindelse nevne at det er planer oppe om å sette i gang en økonomisk kartlegging av landet. Dessuten er vei- og vassdragsvesen, forstvesen, kraftforsyningen, Myrselskapet og Ny jord, samt private eiendomsbesittere interessert i billedoptakelse over en rekke forskjellige områder. Det vil derfor være av stor betydning å prøve å få i stand et samarbeide, således at fotograferingen kan utføres efter en plan som tilgodeser flest mulig av de interesserte. Derved vilde billedmaterialet over de forskjellige områder tilveiebringes med mindre utgifter for de enkelte institusjoner.

Vilhelm Skappel.

NOTE ON LEACHING OF GRANITE WITH SPECIAL REFERENCE TO LEAD, RADIUM AND BARIUM

For an age determination from the radioactive disintergration it is a prerequisite that neither addition nor subtraction of elements on which the measurements are based, has occurred, viz. lead, radium and uranium. Ernst Føyn[1] has shown that at higher temperature a strong leaching of lead from uraninites occurs.

The following tests have been made in order to gain an impression of the possibilities for the leaching of radium and lead from rock with destilled water.

For the test, 125 g granite from Oddersjå, near Kristiansand S. was crushed so it passed through a sieve no. 60, i. e. the sum of the exposed grain surface should be about 150 m^2 and the majority of the individual minerals be free. The rock powder was placed in a funnel with double baryte-filter, and overdribbled with destilled water from a copper vessel at about 10 drops per minute. This water was in equilibrium with CO_2 of the air, and its pH was 6.5. After 4 liters of water had drained through at 20 ° C, it was brought back and allowed to dribble through once more.

After the first extraction the water had a pH=7.3, and after the second extraction 7.3—7.4. The filtrate which was quite clear was then evaporated in a platinum vessel and the residue dried for an hour at 105 ° C. This residue was quite light with very little rust.

The residue was analysed like common silicate. Lead was determined similarly to the method of Hevesy and Hobbie[2], but I used thorium B as an indicator and not radium D. The common chemical components are noted first.

	Original rock	Leached material	Enrichment factor
	%	%	%
SiO_2	71.10	7.35	10.3
Al_2O_3	13.24	1.21	9.13
TiO_2	0.81	Not determined	
Fe_2O_3	1.21	2.11	60
FeO	3.00	-	
MgO	0.58	3.25	562
CaO	1.70	22.10	1300
Na_2O	2.27	6.39	282
K_2O	5.53	19.32	350
P_2O_5	0.03	Not determined	
S	0.05	-	
H_2O	0.46	Not determined	
BaO	0.11[3]	0.91	928
SO_3	-	0.18	
CO_2	-	Not determined	

---

[1] Ernst Føyn: Über die Verwitterung von Uranmineralien. Norsk geologisk tidsskrift 1938, p. 197.

[2] Hevesy und Hobbie: Zeitschr. Anal. Chemie 88, p. 1.

[3] Tested on the same material as used for leaching: BaO = 0.09.

The analysis of the original rock (which however was not made on the same sample as that used for leaching), was placed at my disposal by Prof. Tom. F. W. Barth, the radium determination of the original rock was made by dr. C. S. Piggot[1] and that of the residue by dr. Ernst Føyn.

Original rock	Leached material	
g/g	g/g	
$0.566 \cdot 10^{\div 12}$	$1.5 \cdot 10^{\div 12}$	Radium
$2.170 \cdot 10^{\div 5}$	$4 \cdot 10^{\div 5}$	Lead

These analyses differ somewhat, especially as regards the high alkali percentage of the leached material, from the values found by E. H. Davison[2]. As Davison, however, has given no analysis of his original rock, which may have been quarts-dioritic or granodioritic, nothing more can be said about the parallelism.

As shown by the analyses an enrichment of lead in the extract has occured, while radium and uranium do not seem to have been noticeably extracted. This is reasonable in as much as uraninites are not common minerals on alpine veins. This circumstance would seem to imply that an age determination carried out on natural rock material (which presumeably has been exposed to weathering agencies) should give too low values. At the same time there has evidently been a selective extraction of barium from the K-feldspar, suggesting the possibility of also extracting radium to a greater extent than has proved to be the case with the Oddersjå-granite. This must be due to the fact that the radium-bearing minerals (chiefly zirkone?) are more difficult to extract than the others, and therefor also the lead in the radium-bearing minerals is probably not washed out to any great extent.

That there may be a selective outwashing of the various lead-isotopes has already been proved by Ellen Gleditsch and Bergljot Qviller[3].

According to these preliminary analyses it seems that a Pb206/U determination directly in rocks should give correct results despite a possible leaching of lead, but there are many other conditions which may be of importance and possibly make the method less valuable.

I beg to express my thanks to Prof. Ellen Gleditsch, Prof. Tom. F. W. Barth and dr. Ernst Føyn for their kind help and advice.

Oslo, February 25, 1939.

Ivan Th. Rosenqvist.

---

[1] C. S. Piggot: Radium in Rocks: V. Am. Jour. Sci. 35 A, 1938, p. 229.

[2] E. H. Davison: The leaching of Granite and some other Rocks. Mineralogical Magasine 1938, p. 220.

[3] Philosophical Mag. Ser. 7, Vol. XIV, p. 233.

NORSK GEOLOGISK FORENING

GENERALFORSAMLING OG MØTE TORSDAG 9. FEBRUAR 1939

Tilstede 25 medlemmer og 7 gjester.

Innvalg.

221. Bergingeniør O. F. Graff. Viksnes kopperverk pr. Haugesund. Etter forslag av S. Foslie og J. Helverschou.
222. Ingeniør F. P. Egeberg. Rådhusgata 5 b. Oslo. Etter forslag av S. Foslie og J. Helverschou.
223. Direktør Andreas Quale. A/S Sulitjelma gruver. Sulitjelma. Etter forslag av S. Foslie og J. Helverschou.

Det blev lagt fram innbud til „Tagung über die Geologie von Grönland“ i Naturforschende Gesellschaft Schaffhausen 11. og 12. mars 1939.

Årsmelding for 1938.

Siden forrige generalforsamling er utgått 1 medlem:
Oscar Large, død 17. april 1938.
I samme tidsrum er innvalgt 11 nye medlemmer:

213. Brynjolf Bruun, ingeniør. Mineralogisk institut. Blindern pr. Oslo. 17. mars 1938.
214. Einar Sverdrup, bergingeniør. Store norske Spitsbergen kulkompani. Tordenskjolds gate 6. Oslo. 7. april 1938.
215. Bror Asklund, statsgeolog. Sveriges geologiska undersøkning. Stockholm 50. 10. nov. 1938.
216. F. Lange, lektor. Ringstabekkveien 102. Stabekk. Bærum. 10. nov. 1938.
217. Åsulv Løddesøl, sekretær. Det norske myrselskap. Rosenkrantzgata 8. Oslo. 10. nov. 1938.
218. Johan Normann, direktør. Bygdøy allé 1. Oslo. 15. des. 1938.
219. M. A. Peacock, professor. Geol. departm. University, Toronto. Canada. 15. des. 1938.
220. Ole Rønning, ingeniør. Bygdøy allé 1. Oslo. 15. des. 1938.
221. O. F. Graff, bergingeniør. Viksnes kopperverk pr. Haugesund. 9. febr. 1939.

222. F. P. EGEBERG, ingeniør. Rådhusgata 5 b. Oslo. 9. febr. 1939.
223. ANDREAS QUALE, direktør. Sulitjelma gruver. Sulitjelma. 9. febr. 1939.

Dessuten er medlem nr. 82 R. Støren gjeninnvalgt.

Medlemstallet er nu 130, hvorav 1 æresmedlem, 56 livsvarige og 73 årsbetalende.

Det er holdt 6 ordinære møter med et samlet frammøte av 193. Dessuten er det holdt en ekskursjon med 13 deltakere til Grefsen og Sørkedalen. Av tidsskriftet er i året utkommet bd. 17 h. 3, 4, bd. 18 h. 1, 2 og 3. Bd. 18 h. 4 og bd. 19 h. 1 er under trykking.

Regnskap for 1938.

I. Det ordinære budgett.

Inntekt.

Beholdning overført fra 1937	kr.	2 969,97
Innkommet medlemskontingent for 1937	„	60,00
Innkommet medlemskontingent for 1938	„	470,00
Tilskot fra stat	„	400,00
Tilskot fra Sulitelmafondet	„	3 600,00
Ekstraordinært tilskot fra Nansenfondet til J. K. S. St. Joseph: The Pentameracea of the Oslo Region, bd. 17 h. 4	„	1 000,00
Overført fra livsvarige medlemmers fond	„	209,07
Abonnement og salg av tidsskriftet	„	764,55
Renter av bankinnskot for 1938	„	58,74
	kr.	9 532,33

Utgift.

Tidsskriftet:

Trykking Bd. 17 h. 1—3			kr.	4 184,44
Klisjeer Bd. 16 h. 2—4, rest	kr.	185,79		
Klisjeer Bd. 17 h. 3—4	„	838,26		
Klisjeer Bd. 18 h. 1—4	„	1111,20		
			„	2 135,25
Arbeidshjelp, porto og skrivesaker			„	438,32
Møter og representasjon			„	408,71
Rabatt på salg av tidsskriftet			„	244,50
Anskaffelser			„	27,00
Reuschmedaljen			„	213,07
Beholdning overført til 1939			„	1 881,04
			kr.	9 532,33

II. Livsvarige medlemmers fond.

Urørlig kapital.

Overført fra 1937	kr.	3 815,00
Innkommet kontingent fra 7 medlemmer	„	400,00
	kr.	4 215,00

Herav statsobligasjoner kr. 3 500,00, i bank kr. 715,00.

Disponible renter.

Overført fra 1937			kr.	999,95
Renter av statsobligasjoner for 1938			„	157,50
Renter av bankinnskot for 1938			„	35,61
			kr.	1 193,06
Fragår for forvaltning av statsobligasjoner	kr.	5,00		
Overført til det ordinære budgett	„	209,07		
			„	214,07
			kr.	978,99

III. Status pr. $^{2}/_{1}$ 1939.

Livsvarige medlemmers fond	Kapital	kr.	4 215,00		
	Opsparte renter	„	978,99		
				kr.	5 193,99
Utestående medlemskontingent for 1938				„	280,00
Beholdning, ordinære budgett				„	1 881,04
				kr.	7 355,03

Regnskapet er revidert av S. Føyn og H. H. Smith.

I anledning av regnskapet kom det uttalelser fra H. H. Smith, R. Falck-Muus, B. Dietrichson, O. Holtedahl, O. A. Broch, K. M. Strøm, T. Strand og S. Foslie.

Reuschmedaljen.

På styremøte 9. november blev det besluttet å tildele dosent Harald Bjørlykke Reuschmedaljen for 1939 for hans arbeid: „The mineral paragenesis and classification of the granite pegmatites of Iveland, Setesdal, Southern Norway." Norsk geol. tidsskr. 14, 1934.

Til Reuschmedaljekomite for 1939 blev valgt H. Bjørlykke og H. Rosendahl.

Valg av styre for 1939.

Formann	J. Helverschou.
Sekretær	T. Strand.
Redaktør	H. Rosendahl
Styremedlemmer	L. Størmer. F. Isachsen.
Varamann	C. W. Carstens.

Medlemsmøte.

STEINAR FOSLIE: *Skorovass kisfelt i Grong.*

Foredragsholderen gav en oversikt over de geologiske resultater som var vunnet ved de siste års undersøkelsesarbeid i dette gruvefelt, bl. a. ved gjennemgåelse og mikroskopisk undersøkelse av borkjerner fra 44 diamantborhull. Den forholdsvis massive „grønstein" som omgir feltet i vid omkrets viser seg til dels å ha meget velbevart mikro-ofitisk primærstruktur, til dels med vakre albittporfyrer, til tross for at den nu befinner seg i ren grønsteinfacies med albitt og kloritt som hovedmineraler, og med kalken overført til karbonat eller epidot. Strukturen og den lokale tilstedeværelse av rikelig blærerum (kvarts- eller epidotfelter) viser at vi her har for oss en serie lavabenker, eventuelt med en del mellomliggende tuffmateriale. — Kjemisk spenner de over et ganske betydelig felt. Hovedmassen er albittdiabaser, sammen med natron-keratofyrer og sogar en del kvarts-natron-keratofyrer med henimot 70 % SiO_2, altså en typisk spilitisk serie, med nesten totalt fravær av kali (alle $< 0{,}1$ % K_2O). Noen basaltisk karakter viser de ikke. Om nemlig lerjordoverskuddet tenkes mettet med kalk får vi fremdeles bare oligoklas som normativ feldspat.

Bergarten i malmens nærmeste omgivelser er karakterisert ved „shearing" i forbindelse med matasomatose. Først forsvinner ofittstrukturen, siden blir kalken etter hvert utlutet, dernæst natron. Tilført blir kiselsyre samt mer eller mindre kali, bundet i finskjellet serisitt og samtidig dermed over alt en mer eller mindre rikelig svovlkis-impregnasjon. Vi får de for feltet karakteristiske „rustskifre" i opp til ca. 100 m mektighet. Bevarte kvartsfylte blærerum viser at disse opprinnelig har vært lavaer, eventuelt også en del tuffer. Nu består de av kvarts-klorittskifre med eller uten serisitt.

Kisimpregnasjonene øker gradvis til brukbare anrikningsmalmer. Videre i fallretningen inn mot fjellet får vi de rike malmer, fremdeles på samme horisont. Å dømme bare etter borhullene synes også denne overgang å være gradvis, men det kan ennu ikke avgjøres sikkert. Hovedmalmen utgjøres av en opp til 40 m mektig malmplate uten særlig markert akseretning, i heng og ligg ledsaget av smalere linser og bånd. Det hele stikker inn i fjellet under overliggende massive grønstein, og på grunn av en slags traugform holder malmen seg noenlunde parallell overflaten, i bare 50—100 m dyp. Mineralparagenesen i malmen er utpreget lavtemperaturs, med kvarts, kloritt, en del karbonater, talk og serisitt. Magnetitt og magnetkis mangler helt Mens Skorovass-malmen i sin første periode fikk ord på seg for å være en ganske kobber- og sinkfattig svovlkismalm med 50 % S, har kobber og sink ved de senere undersøkelser fått en stadig større betydning og kan stige til henholdsvis 4 % og 6 %, men med ytterst uregelmessige variasjoner, og samtidig svinger svovlinnholdet mellom 25 og 51 % S. Strukturen er meget finkornig, for det meste under 0,1 mm, men med rene, skarpe grenser.

En nærmere undersøkelse viser at overgangen fra denne normale malm til den førstnevnte kobberfri er meget rask og faller sammen med den skrent hvor det overliggende dekke av massiv grønstein tar slutt. Fra denne linje av, hvor rustskifrene går i dagen, har overflatevannet hatt adgang til malmen, som her i hovedsaken ligger over grunnvannsspeilet. Forholdet kan ikke skyldes annet enn postglacial utluting, og i en målestokk som langt overtreffer, hvad vi ellers kjenner i vårt land. Så vel i rik malm som i impregnasjoner er kobber, sink og karbonater så godt som helt utlutet, og nær det utgående er også en god del av svovlkisens mektighet fjernet så rustskifrene i hengen av malmen er sunket ned etter trappetrinsformede recente forkastninger. Den således utlutede kis har en viss porøsitet, og ruster ikke. Utbrutt har den holdt seg blank ute i dagen i 25 år.

Ca. 1 km fra gruvefeltet og 150 m lavere er der en 30 m dyp sjø, kalt „Det døde hav". Her finner vi en stor del av det utløste jern magasinert som et opp til 8 m mektig lag av jernhydroksyd, som med skarp grense ligger over bunnens glacial-leir. Mengden overstiger antakelig 1 mill. tonn, med 25—35 % Fe. Jernet er åpenbart tilført som sulfat, utfelt som 3-verdig hydroksyd, og senere mer eller mindre redusert, idet den frisk optatt utgjør en plastisk, sort masse som først etter tørring får den brune oker-farge. Den vil bli nærmere undersøkt med henblikk på anvendelse som gasrensemasse.

Som det fremgår av ovenstående, har metasomatose spilt en fremtredende rolle ved malmens dannelse og de omgivende bergarters utforming. For øvrig vil de genetiske spørsmål først bli nærmere behandlet når den primære malm er nådd ved oppfaringen.

I ordskiftet etter foredraget deltok J. Helverschou, H. H. Smith, C. Bugge og foredragsholderen.

Trykt 29. april 1939.

BRACHIOPODEN UND OSTRAKODEN AUS DEM EXPANSUSSCHIEFER NORWEGENS

VON

A. ÖPIK (Tartu, Estland).

Mit 6 Tafeln und 2 Figuren im Text
und einem Nachtrag.

Zusammenfassung. Es werden als neu eine Billingsellidengattung (*Ranorthis norvegica* n. gen. n. sp.) und zwei Estlandiidengattungen (*Oslogonites* und *Anchigonites*, mit je zwei Arten) beschrieben; außerdem einige neue *Orthis* und *Ingria*-Arten und eine neue *Inversella*. Diese Brachiopoden entsprechen dem allgemeinen Charakter der Fauna der nordeuropäischen *expansus*-Schichten.

Von früher bekannten Arten wird besonders *Paurorthis parva* (Pander) untersucht und dessen ventrales Gefäßnetz als polypalmat erkannt und restauriert. Von den drei beschriebenen Ostrakoden wird als stratigraphisch wichtig das Vorkommen von *Tetradella grewingki* (Bock) in Norwegen angegeben.

Die hier beschriebenen Brachiopoden und Ostrakoden gehören alle dem Expansusschiefer (3 c β) zu. Nur eine Art, *Conchoprimitia bröggeri*, stammt aus dem oberen Orthocerenkalk (3 c γ) von Slemmestad und wird hier des Vergleiches wegen mit der Art *socialis* beschrieben.

In der Brachiopodenfauna des Expansusschiefers ist ein großer Unterschied zwischen Krekling und Hedenstad zu beobachten, wie es in der nachstehenden Tabelle zum Vorschein kommt. Es ist zu vermuten, daß hier ein gewisser Altersunterschied verborgen ist, weshalb noch weitere Studien, insbesondere im Felde, notwendig erschienen.

Ungewöhnlich ergiebig müssen die Aufschlüsse des Expansusschiefers von Hedenstad sein. Es soll hier künftig nach altertümlichen *Strophomenacea* (*Ingria*, *Inversella*, *Ukoa*) gesucht werden, da die von hier stammenden Steinkerne und Abdrücke einen besonders günstigen Einblick in die Organisation dieser Gruppe erstatten.

Die Gleichaltrigkeit des norwegischen Expansuschiefers mit dem ostbaltischen Expansuskalk ist nicht zu bezweifeln. Obwohl es scheint, daß die beiden nur wenige gleiche Brachiopodenarten bergen, so ist dies z. T. dadurch verursacht, daß der baltische Expansuskalk faunistisch noch nicht genügend erforscht ist.

Unter den Ostrakoden sei das Auffinden der *Tetradella grewingki* in Norwegen hervorgehoben.

Arten	Lokalitäten			
	Krekling	Hedenstad	Vestfossen	Oslo
Ranorthis norvegica n. gn. n. sp.	×	×	-	-
Orthis kreklingensis n. sp.	×	-	-	-
Orthis novitas n. sp.	-	×	-	-
Orthis sp. aff. *calligramma* Dalm.	-	×	-	-
Productorthis cf. *eminens* (Pander)	×	-	-	-
Paurorthis parva (Pander)	×	-	-	-
Paurorthis parva simplex n. subsp.	×	-	-	-
Paurorthis n. sp. (*sine nomine*)	×	-	-	-
Inversella perundosa n. sp.	-	×	-	-
Ingria holtedahli n. sp.	×	-	-	-
Ingria sp.	×	-	-	-
Ingria occidentalis n. sp.	-	×	-	-
Rafinesquina (?) sp. (Holtedahl)	-	×	-	-
Apomatella secunda n. sp.	×	-	-	-
Apomatella ingrica (Pahlen)	×	-	-	-
Clitambonites norvegicus (Brøgger)	-	-	-	×
Clitambonites cf. *norvegicus* (Br.)	-	-	×	-
Ladogiella sp.	-	-	-	×
Oslogonites costellatus n. gn. n. sp.	×	-	-	-
Oslogonites orthoides n. sp.	-	×	-	-
Oslogonites? sp.	×	×	-	-
Antigonambonites planus (Pander)	×	-	×	-
Antigonambonites cf. *soror* (A. Ö.)	-	×	-	-
Anchigonites conulus n. gn. n. sp.	×	-	-	-
Anchigonites heintzi n. sp.	×	-	-	-
Tetradella grewingki (Bock)	×	-	-	-
Conchoprimita socialis (Brögger)	×	×	-	×
Conchoprimita bröggeri n. sp.	×	-	-	×

Es kommen noch hinzu aus dem Expansusschiefer von Krekling *Porambonites* sp., *(Syntrophia?)* die Graptolithen *Dictyonema* sp. und *Tetragraptus serra* und ein Bryozoon, entweder *Dianulitis* sp. oder *Diplotrypa* sp., das aber wegen der schlechten Erhaltung nicht näher zu bestimmen ist. Die übrige Fauna, insbesondere die Trilobiten, sind durch Brøgger (*13*) bekannt geworden.

Das Material zur vorliegenden Abhandlung wurde z. T. vom Verfasser selbst bei Krekling im Sommer 1932 sozusagen „auf der Straße" gesammelt. Es sind dort alte, verwaldete Steinbrüche mit viel Schutt, wo die Fossilien mit der Zeit zu Hohlräumen und Steinkernen verwitterten und so zum eingehenden Studium geeignet wurden. Dieser kostbare Schutt, besonders mit *Ranorthis norvegica*, wurde zuerst vom Verfasser als Straßenschotter beobachtet. Auf alter Spur eines Schotterwagens gelang es zu den verborgenen alten Brüchen und vermosten Halden zu kommen. Die Lokalität ist bei A. Öpik (*1*), S. 114, Fig. 2 abgebildet. Sie befindet sich im Walde oben, auf der rechten Hälfte des Bildes. Nachher erhielt der Verf. ergänzendes Material aus dem Museum zu Oslo. Herrn Konservator Dr. A. Heintz und der Direktion des Museums wird hier der herzlichste Dank für die Zustellung des Materials ausgesprochen.

Die Originale zur Vorliegenden Arbeit, auch die vom Verfasser bei Krekling gesammelten, werden im Museum zu Oslo aufbewahrt.

Protremata Orthoidea Schuchert & Cooper.

SUPERFAM. *ORTHACEA* SCHUCHERT

Fam. *Billingsellidae* Schuchert.

1. *Ranorthis norvegica* n. gen. n. sp.

Taf. II, Fig. 1 (pars); Fig. 2—9; Taf. VI, Fig. 2.

Ranorthis betrachten wir als eine Gattung der Fam. *Billingsellidae* Schuchert der Superfam. *Orthacea*.

Zu *Orthacea* muß die neue Gattung gerechnet werden, weil sie beim orthoiden (resp. „leptelloidem“) Habitus eine unpunktierte, glatte Schalenstruktur besitzt (Unterschied von den punktierten *Dalmanellacea*).

Als Kennzeichen der *Billingsellidae* erscheinen bei *Ranorthis* die stark divergierenden ventralen vascula media und die voneinander klar getrennten Schließ- und Öffnermuskelnarben der Ventralschale [Vergl. Schuchert & Cooper (*2*), S. 48].

Wie bei den *Eoorthidae* fehlt der *Ranorthis* das Deltidium und das Chilidium. Dieses fehlen der Verschlußplatten ist nun der einzige klar faßbare Unterschied dieser Familie von den *Billingsellidae*, weshalb von einer allzuscharfen Trennung dieser beiden Gruppen voneinander keine Rede sein kann. Man kann aber eine Unterfamilie der *Eoorthinae* Walcott taxonomisch als ein Gleid der *Billingsellidae* aufrecht erhalten und als der Unterfamilie der *Billingsellinae* gleichwertig ansehen. (Vergl. E. V. Ulrich und G. A. Cooper (*20*), S. 620.) Demnach gehört auch die *Ranorthis* in die *Eoorthinae* hinein.

Diagnose: *Ranorthis* ist eine Gattung der *Orthacea* mit divergierenden ventralen vascula myaria (Billingsellidenmerkmal), ohne Deltidial- und Chilidialplatten (Merkmal der *Eoorthinae*), wobei als Gattungsmerkmal der „leptelloide“ Habitus anzusehen ist. Im Querschnitt, nähmlich (Taf. II, Fig. 2) ist die ventrale Schale glockenförmig, während der Nabel stark eingekrümmt erscheint. Die Dorsalklappe ist flach, mit tiefem medianen sulcus, welchem innerlich ein langes, kräftiges Septum entspricht.

Bei den übrigen *Eoorthinae* der Habitus ist mehr orthoid, die Wölbung bikonvex; bei der ebenfalls orthoid gebauten *Bohemiella romingeri* (Barrande) soll die dorsale Klappe sogar flach oder konkav(?) sein (Vergl. Schuchert & Cooper (*2*), S. 52). *Bohemiella romingeri* hat aber eine höhere und größere ventrale Area, eine gleichmäßigere Wölbung der Ventralklappe und keinen so ausgesprochenen dorsalen Sinus. (Vergl. Walcott (*3*), Pl. XL, Fig. 2—2 d.) Immerhin, *Ranorthis* und *Bohemiella* sind miteinander recht nahe verwandt, obwohl sie zeitlich weit voneinander entfernt erscheinen. Es klafft dazwischen die Zeitspanne des Oberkambriums und des Tremadoc.

Genotyp ist die einzige Art *R. norvegica.* Das typische Exemplar (Holotyp: Pal. Mus. Oslo N. 61089) ist die Ventralschale Taf. II, Fig. 1, 7—8. Sie ist 5,5 mm breit (am Schloßrande), 5,5 mm lang und ca. 2.4 mm hoch (größte Wölbung im vorderen Drittel).

Die Klappe hat spitzwinkelige Areaecken und einen gerundeten dreiseitigen Umriß. Die Muskelnarben sind kurz (ca. 1/4 der Schalenlänge) und voneinander gut getrennt und deutlich umrandet, was besonders beim Exemplar Taf. II, Fig. 6 zu sehen ist. Im Längsprofil (Taf. II, Fig. 8) ergibt sich eine Schalenverdickung dicht vor den Muskelnarben, welche auch im Dünnschliff Taf. II, Fig. 2 getroffen wurde. Die vascula media divergieren stark und, gleichwie deren Vortsetzung — die vascula arcuata, scheinen sie eine jede doppelt zu sein. Mächtig ist das Gefäßnetz bei der gerontischen Klappe Taf. III, Fig. 3 entwickelt.

Der Bau der dorsalen Klappe ergibt sich aus Taf. II, Fig. 2 und 3. Hier sind die Muskelnarben lang (fast die Hälfte der Schalenlänge), das Gefäßnetz ist ausgesprochen polypalmat, es fehlen jegliche Spuren von vascula arcuata. Der Schloßfortsatz ist eine unterhöhlte kurze Platte; die Armträger sind klein, konisch und stumpf. Die kleinen Zahngruben werden von je einer fulkralplattenartigen Erhöhung umgeben. Dem tiefen medianen Sinus entsprechend ist auch der Schalenrand vorne aufgeworfen. Die mäßig hohe dorsale Schwelle ist mit einer feinen Rinne zum Einfassen des Randes der Ventralschale versehen. Letzteres ist Taf. II, Fig. 2 sichtbar. Die Schalenskulptur besteht aus dachartigen Faltenrippen, welche sich zum Vorderrande hin durch abspalten vermehren. Bei der Dorsalschale Taf. II, Fig. 5 zählt man am Rande zusammen mehr als 50 Rippen; es kommen dabei ca. 6 Hauptrippen auf 2 mm des Schalenrandes, wobei zwischen jeder Hauptrippe 1 bis 4 feinerer Spaltrippen zu liegen kommen.

Ranorthis norvegica ist ein häufiges Fossil des *expansus*-„Schiefers“ und bildet oft ansehnliche Anhäufungen in diesem (Taf. VI, Fig. 2).

Vorkommen: häufig im norwegischen Expansusschiefer.

Vergl. „Nachtrag, 1.“ S. 142.

Fam. *Orthidae* Woodward.

2. *Orthis kreklingensis* n. sp.

Taf. I, Fig. 1—5. Taf. II, Fig. 1.

Es liegt uns eine *Orthis*-Art vor, welche durch ihre Rippenzahl (ca. 20) und durch die relativ kräftige Ausbildung der feinen Längsstreifung charakterisiert werden kann. Es wäre sehr verlockend dem Problem durch Anwendung der Namen „*calligramma*“ und „*callactis*“ eine scheinbare Lösung zu geben. Doch sind hier diese beiden Arten sicherlich auszuschließen, weil *calligramma* (Dalman (*4*), S. 114) 32 Rippen, *callactis*, dagegen, ihrer nur 14—16 (ebenda, S. 112) und außerdem eine flache Dorsalschale besitzt. Uns liegen aber Formen vor mit 20, resp. 22 Rippen und gewölbter Dorsalschale.

Der Rippenzahl nach kommen hier also nur die folgenden, von Pander (*5*) beschriebenen Arten in Betracht: *Orthambonites transversa, tetragona, rotundata* und *plana.* Nach Pander soll *plana* eine flache dorsale Schale haben, doch, die Abbildung bei Pander ((*5*), Taf. XXII, Fig. 8) betrachtend, scheint hier eine Deformation vorzuliegen. Ferner, *O. semicircularis* Pander hat 24 Rippen und eine flache Dorsalklappe, ist also auch eine andere Art.

Ähnliche Formen werden auch bei Verneuil (*6*) beschrieben, doch leider unter dem Sammelnamen *calligramma*.

Es steht uns also die Wahl, eine der drei Pander'schen Namen (*transversa*, *tetragona* oder *rotundata*) hier anzuwenden, welche aber höchstens nur zwei Arten darstellen. Es scheint uns, daß sie *transversa* (20 Rippen) und *rotundata* (22 Rippen) einer und derselben Art angehören, wobei das bei Pander abgebildete *rotundata*-Exemplar zwei Zuwachslamellen aufweist. Bei *tetragona* finden wir, dagegen, zwei Merkmale, welche eine Trennung von anderen Arten Pander's ((5), Taf. XXII) berechtigen: es sind dies die gleichmäßige Wölbung ihrer Ventralschale (Pander, Taf. XXII, Fig. 3 d) und der tetragonale Umriß der *tetragona*. Die *transversa* resp. *rotundata* haben die höchste Wölbung hinten und der Umriß ist abgerundet.

Die norwegischen Formen der Wölbung nach stehen der *tetragona* nahe, der Umriß, dagegen, ist *rotundata*-artig abgerundet. Ferner, Vergleichsmaterial aus dem Unterordovizium Rußlands (Pavlovsk) belehrt, daß bei den Arten der *transversa—rotundata*-Gruppe die feine Längsstreifung auch auf die Rippen verbreitet ist, während an unseren norwegischen *Orthis*-Klappen die Rippen selber glatt sind, die Zwischenräume aber gestreift erscheinen. Es kann dabei kaum mit einer Abnutzung der Rippenkämme und einem Verlust der Streifung gerechnet werden, weil hier natürliche Gesteinsabdrücke der Schalenoberfläche vorliegen. Diese sind auch von anderen Brachiopoden aus denselben Schichten bekannt (*Ingria*, Gonamboniten etc.) und zeigen die feinsten Einzelheiten der Skulptur.

Diagnose der *Orthis kreklingensis* n. sp.: eine *Orthis* (s.str.) mit 20—22 einfachen glatten Rippen, feingestreiften Zwischenräumen, rundlichen Umriß, bikonvexer Wölbung, wobei die größte Wölbung der Ventralschale in der Mitte liegt.

Holotyp ist die Dorsalklappe Taf. I, Fig. 1—2 (Pal. Mus. Oslo N. 61090). Erhalten ist der Abdruck der Außen- und der Innenfläche. Es ist 10 mm lang, 14 mm breit, bei einem 12 mm breiten Schloßrande und einer Wölbung von 2 mm. Die abgerundeten Rippen sind einfach, Rippenzahl = 20, wobei die Rippen ebenso breit sind wie die Zwischenräume. In jedem Zwischenraum verlaufen 2 bis 4 feine, aber scharfe, ungleich starke Längsstreifen. Das Mittelseptum ist breit und flach. Die Muskelnarben sind flach vertieft, die Brachiophoren tragen hinten eine Längsrinne; die Zahngruben sind flach und durch einen feinen, fulkralplattenartigen Rand umgeben. Die niedrige Area ist um 45° zur Ebene des Schalenrandes anaklin geneigt. Die zweite Dorsalschale (Taf. II, Fig. 1, pars, und Taf. I, Fig. 3) zeigt gut den Charakter der feinen Streifung der Zwischenräume. Es ist hier der mittlere Streifen stärker als dessen Nebenstreifen ausgebildet.

Die Ventralschale Taf. I, Fig. 4 und 5 (ein Steinkern) ist 7 mm lang und 8 mm breit, bei einer Schloßrandbreite von etwas über 6 mm. Man zählt hier ca. 22 Rippen; die größte Wölbung liegt in der Mitte; das ovale, schwach umrandete Muskelnarbenfeld ist so lang, wie ein Drittel der Schalenlänge.

Vorkommen: Expansusschiefer von Krekling.

3. *Orthis novitas* n. sp.

Taf. V, Fig. 5.

Es ist eine *Orthis*-Art mit wenigen Schaltrippen im Mittelsektor.

Holotyp ist die abgebildete Dorsalschale mit Resten der ventralen Interarea-Region, als Gesteinsabdruck erhalten (Pal. Mus. Oslo Nr. 2338) Loc.: Rokstadåsen, Hedenstad, Koll. P. Auerdahl.

Die Brachialschale ist 14 mm lang und 18 mm breit, bei einem 12 mm breiten Schloßrande. Die Wölbung war flach konvex, die Schale ist aber im gegebenen Fall zerdrückt. Rippenzahl am Rande = 26, davon viel kürzere Schaltrippen. Die Skulptur besteht aus feiner Längsstreifung (auch auf den Rippen, wie bei *calligramma*) und deutlicher feiner Querriefung.

Von allen bekannten *Orthis*-Arten unterscheidet sich diese durch die Schaltrippen. Es scheint eine seltene Art zu sein.

Vorkommen: Expansusschiefer von Hedenstad.

4. *Orthis* sp. aff. *calligramma.*

Textabb. 1.

Es liegt uns vor nur der Innenabdruck einer einzigen, der abgebildeten, Brachialschale. Es gehört zur *calligramma*- resp. *callactis*-Gruppe, unterscheidet sich aber dabei durch die besonders großen Armträger. Die Muskelnarben sind relativ deutlich, die hinteren erscheinen dabei zweilappig. Rippenzahl = ca. 27. Die Schale ist 10 mm lang, 11 mm breit und hat einen 8 mm breiten Schloßrand.

Vorkommen: ein Exemplar aus dem Expansusschiefer von Hedenstad.

5. *Productorthis cf. eminens* (Pander).

Taf. I, Fig. 6.

Es liegt uns vor der Außenabdruck einer einzigen ganzen Schale, welche zu *Productorthis* Kozłowski (*7*) gerechnet werden kann. Unter allen von Pander beschriebenen Arten, auch unter den von Kozłowski revidierten, hat nur die Art *eminens* Pander einen derartig stark ausgebildeten und eingekrümmten Schnabel der Ventralschale, wie es hier vorhanden ist. Auch stimmen zu *eminens* die zahlreichen *Atrypa*-artigen Zuwachslamellen. Nur sind die welligen Längsrippen hier gröber, als es für *eminens* angegeben wird. Es sind hier ca. 25 Rippen am Schalenrande zu zählen, was schon an die Art *obtusa* erinnert, Breite des Schloßrandes 7 mm; größte Breite in der Schalenmitte 8 mm; Länge der Dorsalklappe 6 mm; Länge der ventralen 7,5 mm.

Vorkommen: Ein Exemplar aus dem Expansusschiefer von Krekling. Megalaspiskalk und Expansuskalk Ostbaltikums.

SUPERFAM. *DALMANELLACEA* SCHUCHERT & COOPER

Fam. *Paurorthidae* A. Ö.

Paurorthis parva (Pander).

Taf. I, Fig. 8—9; Textabb. 2; Taf. VI, Fig. 6.

Schuchert & Cooper (*2*); A. Öpik (*8*).

Es ist eine sehr gut bekannte und häufig vorkommende Art. An den hervorragend erhaltenen Steinkernen kann auch das Gefäßnetz studiert und restauriert werden. Die Schalenstruktur ist punktiert, was in Schliffen und an Steinkernen norwegischen Materials nachgeprüft werden konnte.

Das dorsale Gefäßnetz (Vergl. A. Ö. (*9*)) ist polypalmat, was besonders Schuchert & Cooper, Taf. III, Fig. 7 und A. Ö. (*8*) Taf. IV, Fig. 1 a zu sehen ist. Die Gefäßabdrücke durchstrahlen die Innenfläche nach demselben Prinzip, wie es bei *Orthis* (A. Ö. (*9*), Fig. 16), *Clitambonites* (ibid., Fig. 8) und bei vielen anderen Protremata und Telotremata geschieht. Dabei gibt es aber bei *Paurorthis* Einzelheiten des dorsalen Systems der Mantelgefässe, welche für das Genus

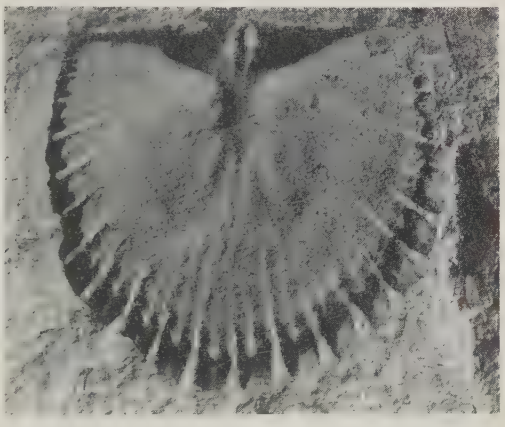


Abb. 1. *Orthis* sp., aff. *calligramma* aus dem *expansus*-Schiefer von Hedenstad. × 5 der nat. Größe. Koll. T. Strand. Nr. 2346, Mus. Oslo.

charakteristisch sind. Dies sind die zwei Paar breiten Spuren der vascula myaria (A. Ö. (*8*), Taf. IV, Fig. 1 a, „v“), welche deutlich als die vascula cruralia und vascula media ausgebildet erscheinen. Am jungen Exemplar Taf. I, Fig. 9 ist, allerdings, das Innenrelief der Schale schwach, wobei nur die radialen Porenreihen den Verlauf aller Gefässe angeben.

Das ventrale Gefäßnetz in den Hauptzügen konnte schon aus den Abbildungen bei Schuchert & Cooper ((*2*), Taf. III, Fig. 5 und 6) und A. Ö. ((*8*), Taf. III, Fig. 5 und 6) und A. Ö. ((*8*), Taf. III, Fig. 2 b) ermittelt werden. Die charakteristischen intervascularen Leisten, welche diagonal zur Mittellinie laufen, sind ja häufig bei den Ventralschalen der *P. parva* zu beobachten.

Das Exemplar Taf. VI, Fig. 6 entspricht nun der kräftigen Ausbildung der vascula media nach dem genannten Stück bei Schuchert & Cooper. Doch bei dieser einseitigen Ausbildung bleibt der Verband mit dem randlichen Gefäßsystem unklar. Das ventrale Mantelsystem, besonders dessen randliche Verzweigung, kann aber nun recht genau am Steinkern Taf. I, Fig. 8 studiert werden. Die vascula media sind hier orthoid ausgebildet, die vascula arcuata sind, dagegen, nur durch nach links und rechts ablaufende Zweige der medianen Gefässe vertreten. Außerdem sind sie mit den Gefässen der Seitenlappen des Mantels verbunden, was bei echten vascula arcuata der Orthiden nicht der Fall ist. Somit bilden die Gefässe der Mantellappen je ein geschlossenes System, wobei die Gefässe der Seitenfelder in diese vom Rande aus hinein strahlen. Dadurch werden auch die charak-

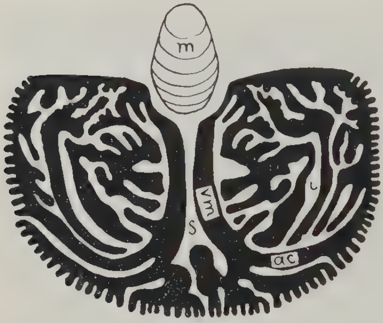


Abb. 2. Das ventrale System der Mantelgefässe von *Paurorthis parva*, nach dem Steinkern Taf. I, Fig. 8 rekonstruiert. S — Medianseptum, als intervasculares Septum ausgebildet; vm — vascula media; ac — distale Zweige der vascula media, welche ein Analogon zu den vascula arcuata der *Orthacea* darstellen. Echte vascula arcuata (vergl. z. B. A. Ö. (9), Fig. 17 (*Dolerorthis*)) sind hier nicht ausgebildet; i — intervasculare Räume (Septen) der Seitenfelder; m — Muskelnarben.

teristischen intervascularen Leisten der ventralen Schale von *P. parva* erzeugt.

Bei Orthiden (Beispiel: *Dolerorthis* in A. Ö. (9), S. 56) dagegen, strahlen diese Gefässe der Seitenlappen, welche in der Literatur als Ovarien bezeichnet werden, aus der Gegend der Schloßzähne und der Muskeln, also vom Zentrum aus zur Peripherie hin. Diese „Ovarien" der Orthiden sind der Rest des ursprünglich polypalmaten Gefäßnetzes (nodus lateralis und vascula myaria in A. Ö. (9), Fig. 20, S. 60 bei *Orthis kukersiana*), dessen Seitenteile durch die vascula arcuata vom Rande verdrängt werden.

Bei *Paurorthis* fehlt aber der nodus lateralis, es sind also, offenbar, die vascula myaria hier garnicht vorhanden, während der ihnen bei *Orthis* zukommende Raum durch Verzweigungen der eigentlichen vascula media ausgefüllt wird.

Zwei Deutungsmöglichkeiten stehen hier offen: entweder 1) *Paurorthis* besitzt ein eigenartig spezialisiertes, reduziertes System der ventralen Gefässe, wobei die Entwicklung durch ein *Orthis*-Stadium (durch vascula arcuata umschlossene v. myaria) durchlaufen mußte, oder 2) *Paurorthis* besitzt ein primitives ventrales System, welches nur aus den vascula media und deren Verzweigungen besteht und gewissermaßen Gegenstücke unter den schloßlosen Brachiopoden (z. B. *Acrotreta*) hat. Die beiden ventralen Mantellappen der *Paurorthis* sind untereinander nicht ganz symmetrisch. Besonders ungleich erscheinen die beiden vorderen Apophysen der vascusa myaria, wobei jene des linken Lappens (im Bilde rechts) mehr verzweigt sind, als des rechten. Fast genau dieselben Verhältnisse trifft man bei Orthiden, wie es z. B. bei der obengenannten *Dolerorthis osiliensis* ((9), Textabb. 17) der Fall ist.

Nun ist *Paurorthis parva* vorläufig die einzige Dalmanellacee, bei welcher das Gefäßnetz so genau bekannt geworden ist. Hoffentlich wird dies auch bei jüngeren Dalmanellen gelingen, wodurch ein Mittel mehr geschaffen wird in den phylogenetischen Fragen Licht und Ordnung zu schaffen. Vorläufig scheint es, daß die Dalmanellen (richtiger gesagt, wenigstens die Ahnen der *Paurorthis*) im Kambrium sich vom Hauptstock der Orthacea abzweigen, doch sind diese Stammformen noch vollkommen unbekannt. Ein Grund dieser Unsicherheit ist wohl darin zu suchen, daß wegen allzuhäufig vorkommender Umkristallisierung der Schalensubstanz die Schalenstruktur der kambrischen Protremata meist nicht mit Sicherheit festzustellen ist.

Vorkommen: Expansusschiefer von Krekling, häufig. Megalaspiskalk und Expansuskalk Ostbaltikums.

Die Erhaltung der Gefäßabdrücke ist auch bei *Paurorthis* eine Ausnahme. Bei der hochgerontischen Schale Taf. I, Fig. 11—12 ist von diesen keine Spur vorhanden. Es ist übrigens eine Varietät der Hauptform, welche wir mit dem folgenden Namen bezeichnen:

7. *Paurorthis parva simplex* nov. var.

Taf. I, Fig. 11—12.

Durch ihre einfache Rippen unterscheidet sich diese Form von der fascicostellaten Hauptform. Auch scheint die Wölbung der Ventralschale kräftiger als bei *parva parva* gewesen zu sein. Holotyp Pal. Mus. Oslo. Nr. 61091.

Vorkommen: Expansusschiefer von Krekling.

8. *Paurorthis* n. sp. (sine nomine).

Taf. I, Fig. 10.

Die Unterschiede von *P. parva* sind: 1) der trapezoidale Umriß, 2) etwas kleinere Muskelnarben der Dorsalschale, 3) abweichender Ankerbau (der Anker ist größer), 4) die kleineren Zahngruben, 5) die stärkeren und kürzeren, ungebogenen Armträger, 6) das kürzere und mächtigere Septum. Die Skulptur und die ventrale Klappe sind unbekannt.

Vorkommen: Expansusschiefer von Krekling.

Protremata Strophomenoidea.

Fam. *Plectambonitidae* Kozłowski.

Subfam. *Ahtiellinae* **A. Ö.**

9. *Inversella perundosa* nov. sp.

Taf. V, Fig. 6.

Eine *Inversella* mit halbkreisförmiger Scheibe (also die Breite am Schloßrande beträgt die doppelte Länge der Scheibe), neun Runzeln, und 25 Längsstreifen auf 5 mm am Rande der Scheibe.

Holotyp ist das abgebildete Stück, der Abdruck der Außenseite einer Dorsalschale aus Rokstadåsen, Hedenstad. Koll. Auerdahl. (Pal. Mus. Oslo. Nr. 2332.)

Die Breite des Schloßrandes beträgt 29 mm, die Länge der Scheibe 14 mm. Das Knie ist durch eine erhabene Falte markiert und erscheint daher scharf ausgeprägt. Der Kniewinkel ist nicht zu messen, da das Stück etwas zerdrückt ist. Die Schalenecken sind etwas zugespitzt gewesen (Verlauf der Runzeln); die Runzeln anastomosieren in der Mittellinie; die Mittellinie selbst wird durch eine einzige, kräftige Längsrippe markiert. Die Scheibe ist flach.

Von den beiden andern bekannten Arten der *Inversella* (A. Ö. (*10*), (*11*)) unterscheidet sich die neue durch ihre relativ kurze Scheibe und zahlreiche Runzeln. Außerdem, *Inversella borealis* Öpik ((*11*), S. 23) hat ein mehr abgerundetes Knie. In dieser Hinsicht steht *I. perundosa* näher zu *Inversella angulata* Ö., wo das Knie gut markiert erscheint, wo aber die Runzeln weniger zahlreich und mehr undeutlich erscheinen und wo die Scheibe relativ länger ist.

Vorkommen: Rokstadåsen, Hedenstad, *expansus*-Schiefer. Vergl. Nachtrag S. 142.

Subfam. *Plectambonitinae* **O. T. Jones.**

10. *Ingria holtedahli* nov. sp.

Taf. IV, Fig. 3, Fig. 5—9.

Es ist eine *Ingria* mit wenigen Hauptrippen, spitzwinkeligen Flügeln und mit einer kurzen, fast um 90° herabgebogenen Schleppe.

Holotyp ist das Exemplar Taf. IV, Fig. 3 (Pal. Mus. Oslo Nr. 61092). Es ist 11 mm breit und 5 mm lang (bis zum Knie), ca. 6 Hauptrippen können auf der Scheibe unterschieden werden Es ist die Außenseite einer Ventralschale.

Der Innenbau und die Skulptur wird durch Taf. IV, Fig. 5—9 illustriert.

Die Stücke Fig. 5 und 6 gehören einer und derselben Dorsalschale. Wir nehmen an, daß diese und die Ventralschale Fig. 7 (ebenda) einem und demselben Exemplare angehören, — wegen übereinstimmender Größe und der benachbarten Lage im Gestein.

Es scheinen hier 7 Hauptrippen gewesen zu sein. Die feine Querriefung ist gut erhalten. Man zählt ca. 15—17 Querreihen auf einem mm. Der dorsale Innenbau zeigt ein doppeltes Mittelseptum, zwei Paar seitlicher intervascularer Septen, von denen die äußeren geknickt erscheinen; ferner, undeutliche, glatte Muskelnarbenfelder. Der Schloßrand ist gezähnelt, das Chilidium scheint vorne unterbrochen gewesen zu sein. Die Scheibe wird innerlich durch eine wohlentwickelte Schwelle begrenzt, welche durch zahlreiche Gefäßrillen unterbrochen wird. Im Innenbau der Ventralschale ist das schwache Relief auffallend. Die Zahnstützen erscheinen kurz; die Schließmuskelsehneninsertion kann nicht unterschieden werden; die Öffnernarben sind kaum angedeutet; eine „x“-Platte fehlt.

Ingria holtedahli steht der *I. nefedyevi* (Eichwald) (vergl. A. Ö. (*10*)), sehr nahe: sogar die Querriefung ist bei den beiden gleich dicht. Sichere Unterschiede sind die herabgebogene Schleppe, spitzwinkeligen Flügel und geringere Zahl der Hauptrippen bei *I. holtedahli*.

Das von Holtedahl (*12*), S. 45 als *nefedyevi* beschriebene Exemplar hat stumpfere Flügel, zahlreichere Hauptrippen und offenbar keine deutliche Schleppe, so daß es hier tatsächlich, dem Autor entsprechend, die Art *nefedyevi* Eichwald vorzuliegen scheint.

11. *Ingria* sp.

Taf. IV, Fig. 4.

Es ist eine schlecht erhaltene, invers gewölbte ventrale Schale, bei welcher die nur in Spuren erhaltene feine Skulptur an *Ingria* erinnert. Die große Schleppe, mit einem nasenförmigen Vorsprung versehen, könnte auch einer *Inversella* A. Ö. (*11*) angehören.

12. *Ingria occidentalis* n. sp.

Taf. III, Fig. 12; Taf. V, Fig. 3—4.

Eine Art mit drei Runzeln auf jedem Flügel, mit zahlreichen sekundären Längsstrahlen (3 bis 4 Rippen auf 2 mm des Schalenrandes) und relativ grober Querriefung (ca. 11 Querriefen auf 1 mm).

Holotyp ist die Ventralschale (ein Abdruck der Außenseite) von Rokstadåsen in Hedenstad, Koll. P. Auerdahl (Pal. Mus. Oslo Nr. 2334). Es ist am Schloßrande 22 mm breit, während die Länge nicht weniger als 12 mm und nicht mehr als 15 mm erreichen mußte. Hier ist ja die Länge leider nicht mehr auszumessen. Aber, nach der konzentrischen Zuwachsriefung zu urteilen, muß das Verhältnis Breite/Länge = 1,44 schon am Beginn des reifen Alters geherrscht haben, was auf eine relativ kurze Art hinweist. Das Exemplar Taf. V, Fig. 3 ist 13 mm breit und ca. 7 mm lang, also ein recht junges und daher breites Stück (vergl. A. Ö. (*10*), S. 19).

Die Versteifungsrunzeln der Schale sind ganz kräftig, indem sie auch innerlich ausgebildet sind; die Längsrippen sind dabei ebenfalls stark, wodurch die Schale etwas wellig erscheint. Die Schleppe ist äußerlich undeutlich von der Scheibe getrennt, dagegen innerlich (Taf. V, Fig. 3) erscheint hier eine durch Gefäßrinnen zerschnittene Schwelle; die Flügel sind etwas ausgezogen und spitz. Der Umriß scheint abgerundet trapezoidal gewesen zu sein. In der Ventralschale ist eine regelrechte x-Platte vorhanden und ein Paar divergierender Seitensepten sind gleichfalls angedeutet. Das durch hohe Zahnstützen begrenzte Muskelnarbenfeld ist schmäler als bei *I. holtedahli*.

Von anderen Arten unterscheidet sich *Ingria occidentalis* in erster Linie durch ihre grobe Querriefung. In dieser Hinsicht scheint die *Ingria pakriana* A. Ö. (*10*) am nächsten zu sein, wo auch eine Runzelung der Flügel vorliegt. Doch ist leider beider *pakriana* die Querriefung recht verschwommen und dabei noch gröber (8—10 auf 1 mm) als bei *occidentalis*.

Bei etwas erweitertem Artbegriff muß die *occidentalis* als eine Varietät der *pakriana* aufgefaßt werden.

Incertae sedis.

13. *Rafinesquina* (?) sp. Holtedahl ((*12*), S. 14).

Taf. III, Fig. 12 (rechts).

Es ist nur ein schlechter Abdruck einer fragmentären Schale, deren Skulptur an die von Brøgger (*13*), resp. Holtedahl (*12*) beschriebene Form erinnert. Es wird wohl keine *Rafinesquina* sein, sondern es ist hier möglicherweise ein Glied der Fam. *Plectambonitidae*, vielleicht eine *Ukoa* (*10*), zu vermuten.

Protremata clitambonoidea.

Fam. *Clitambonitidae* Winchell & Schuchert.

14. *Apomatella secunda* n. sp.

Taf. II, Fig. 11—12.

Eine *Apomatella* mit aufrechter, katakliner ventraler Area und einem kurzen Spondylium, dessen Länge weniger als 1/4 der Schalenlänge beträgt. Holotyp ist die abgebildete Klappe, 6 mm breit und 4 mm lang. Holotyp Pal. Mus. Oslo Nr. 61097.

Es ist dies die zweite Art der Gattung. Die erste, der Genotyp, ist *Apomatella ingrica* (Pahlen) ((*2*), S. 117), (*9*), S. 128). Die *ingrica* hat eine geneigte, prokline ventrale Area und ein längeres Spondylium. Ferner, bei der *secunda* die scharfkammigen Skulpturrippen erscheinen feiner (bis 9 auf 2 mm des Schalenrandes) als bei der *ingrica* und der Schalenumriß erscheint rundlicher. Die Ecken sind dabei fast rechtwinklig ausgebildet.

A. secunda, außer Norwegen, kommt auch recht selten im oberen Megalaspiskalk Ostbaltikums vor (Iswos am Wolchow, z. B.).

15. *Apomatella ingrica* (Pahlen).

Taf. II, Fig. 10.

A. ingrica eine durch Pahlen, (*14*), Schuchert & Cooper (*2*) und A. Ö. (*9*) untersuchte primitive Clitambonitenart und -Gattung, ist nicht selten im *expansus*-Schiefer von Krekling zu finden. Das Fehlen der ⊥-Platte, die kurzen Spondylium und Septum, die spitzeckigen Flügel sind die auffallendsten Merkmale, welche auch beim abgebildeten Steinkern der ventralen Schale wiederzufinden sind. Hinten, in der Umgebung des Spondyliums, sieht man hier noch einige Abdrücke intervascularer Leisten.

Vorkommen: *Expansus*-Schiefer von Krekling, *Megalaspis*-kalk von Estland, Ingermanland, Wolchow usw.

16. *Clitambonites norvegicus* Brøgger.

Orthisina norvegica Brøgger (*13*).

Als Holotypus dieser Art ist das von Brøgger abgebildete (Taf. XI, Fig. 10—10 b) Exemplar anzusehen. Es ist eine seitlich zusammengedrückte Ventralschale, deren Bau nur in den Hauptzügen bekannt ist. Diese Ventrallappe liegt uns vor und trägt die Nummer H 2640 des Museums zu Oslo. Zur Originalbeschreibung Brøgger's ((*13*), S. 49—50) sei noch hinzugefügt, daß hier ca. 8 radiale Rippen auf 5 mm vorliegen und daß die Interarea großflächig, kaum gebogen und hoch ist. Es ist mit ziemlicher Sicherheit anzunehmen, daß es hier sich tatsächlich um die Gattung *Clitambonites* handelt.

17. *Clitambonites* cf. *norvegicus* Brøgger.

Taf. VI, Fig. 1, 3.

Die beiden abgebildeten Steinkerne stammen aus Vestfossen, sind offenbar in selben Schichten gefunden worden, zeigen eine gleiche Rippenzahl (9 Rippen auf 5 mm), sind von ähnlichem, kräftigem Innenrelief, — daher möchten wir diese als zu einer und derselben Art angehörig betrachten.

Daß es keine Gonamboniten, sondern echte *Clitambonitidae* sind, bezeugt folgendes: 1) an der Pedikelschale fehlen unter dem Spondylium jegliche Stützleisten; 2) Die Geräßabdrücke zeigen den Charakter von *Clitambonites* und *Ladogiella* (vergl. (*9*), S. 50); 3) die dorsalen Muskelnarben sind entschieden nach dem Klitambonitenmuster (vergl. (*9*), S. 19) aufgebaut; 4) die Innenfläche der Schalen ist glatt und sicherlich nicht gewarzt gewesen.

Es ist durchaus möglich, daß hier die *Orthisina norvegica* Brøgger vorliegt. Zur vollen Überzeugung fehlt aber die Außenskulptur, obwohl die Rippenzahl in den beiden Fällen fast dieselbe ist.

Die Pedikelschale Taf. VI, Fig. 1 ist 10 mm lang, 17 mm breit (am Schloßrande) und muß ca. 5 mm hoch gewesen sein. Das Spondylium ist kurz, das Mittelseptum schwach. Das Gefäßnetz erinnert einerseits an *Ladogiella* (A. Ö. (*9*), S. 50), anderseits an *Clitambonites squamatus* (ebenda, Taf. XX, Fig. 2) und ist in allen Einzelheiten entwickelt.

Die Brachialschale (Taf. VI, Fig. 3) ist relativ flach gewölbt (vergl. bei Brøgger, S. 49) und vorne mit einem flachen Sulcus versehen. Die großen, mehr als über die halbe Schalenlänge reichenden Muskelnarben, werden durch ein kräftiges Mittelseptum geteilt. Die Gefässe des Mittelsektors sind durch feine intervasculare Leisten markiert. Anker nicht erhalten.

Vorkommen: Expansusschiefer von Vestfossen.

18. *Ladogiella?* sp.

Taf. VI, Fig. 5.

Es liegt vor nur das abgebildete Stück, — eine Pedikelschale aus Tøien (Nr. 20135 Museum Oslo), noch von Münster gefunden und von Brøgger als *Orthisina norvegica* bezeichnet.

Es unterscheidet sich aber vom Typus der *norvegica* durch bedeutend feinere Rippen (14 Rippen auf 5 mm). Möglicherweise ist die Abbildung Taf. XI, Fig. 13 bei Brøgger (*13*) nach diesem Exemplar angefertigt worden.

Fam. *Estlandiidae* A. Ö.

Oslogonites n. gen.

Eine Gattung der *Estlandiidae* (*Estlandiinae*) ohne ⊥-Platte und Chilidium, ohne Schloßfortsatz, mit feingerippter Oberfläche, mit flach bis mäßig gewölbter dorsalen und *Vellamo*-artigen hohen Ventralschale.

Genotyp: *Oslogonites costellatus* n. sp. Die Schalensubstanz ist pseudopunktiert, die entsprechenden Warzen sind dicht gestreut und fein, haben aber auf den Steinkernen immer deutliche Spuren hinterlassen. Bei der Ventralschale fällt das hochgestellte Spondylium auf, wobei die bei den anderen Gattungen der *Estlandiidae* so unerläßlichen Seitensepten (intervasculare Leisten) hier kaum angedeutet erscheinen.

Die Eigenart der Dorsalschale geht aus Taf. V, Fig. 8 und 10 hervor. Der Anker ist in der Ebene des Schalenrandes gelegen, die Armträger sind klein und wenig hervorstehend. Anstatt des Chilidiums wird die notothyriale Plattform vorne durch eine Rinne umgrenzt; das Mittelseptum ist schwach angedeutet.

Die Skulptur erinnert einigermaßen an *Progonambonites*, ist aber dabei feiner. Weitere Unterschiede gegenüber aller anderen *Estlandiidae* sind: 1) der *Vellamo*-artige Habitus, indem die Ventralschale hoch, die Dorsalschale nur wenig gewölbt erscheint; 2) der geschilderte Ankerbau; 3) das Fehlen der Verschlußplatten des Dithyriums (vergl. A. Ö. (*9*), S. 12); 4) Die rudimentäre Entwicklung der subspondyliaren Seitensepten.

Neben dem Genotyp — dem *Oslogonites costellatus*, gehört in diese Gattung noch *O. orthoides* n. sp. und, vielleicht, *Progonambonites volborthi* (Pahlen).

Die phylogenetische Stellung der neuen Gattung ist noch unklar. Sie macht einen ursprünglichen, relativ primitiven Eindruck, etwa wie die *Apomatella* unter den echten Clitamboniten ((*9*), S. 71, 128) dies zu tun pflegt.

19. *Oslogonites costellatus* n. sp.

Taf. III, Fig. 2—8.

Holotyp ist die Pedikalschale Taf. III, Fig. 2—4, Expansusschiefer von Krekling, Koll. des Verfassers (Pal. Mus. Oslo Nr. 61093). Die Schale ist 9,5 mm breit, 6 mm lang und 5 mm hoch. Die ursprüngliche Warzung der inneren Schalenfläche ist an der Rauheit des Steinkernes zu erkennen. Fig. 2 gibt den horizontalen Umriß und das ventrale Innere wieder; die Skulptur des Holotypus (Fig. 4) besteht aus abgerundeten quergerieften Spaltrippen, deren man am Schalenrande ca. 23 auf 5 mm zählt.

Taf. III, Fig. 8 gibt eine jugendliche Ventralschale wieder, mit schwach ausgebildetem mittelseptum, Der schon oben beschriebene Bau der Dorsalschale ergibt sich aus Taf. III, Fig. 5—7. Bezüglich der Skulptur sei bemerkt, daß die Hauptrippen hier markanter erscheinen als bei der mehr gewölbten Ventralschale. Solches Verhalten ist auch bei anderen Klitamboniten und sogar Strophomenoidea beobachtet worden.

Vorkommen: Expansusschiefer von Krekling.

20. *Oslogonites orthoides* n. sp.

Taf. III, Fig. 12 und 14, Taf. V, Fig. 2.

Eine Art mit relativ bauchiger Dorsalschale und gröberen Rippen (14 bis 16 auf 5 mm). Holotyp ist die Taf. III, Fig. 14 und Taf. V, Fig. 2 abgebildete Dorsalschale aus dem Expansusschiefer von Hedenstad (Pal. Mus. Oslo Nr. 2334, Koll. P. Auerdahl). Es ist 15 mm breit und 13 mm lang.

Von *Oslogonites costellatus* unterscheidet sich die neue Art, ferner, durch den rundlichen Umriß, relativ kurzen Schloßrand und grobe Querriefung (Taf. III, Fig. 14). Das dorsale Septum ist kaum angedeutet, die Armträger liegen in der Ebene des Schalenrandes. Der Ankerbau gleicht jenem des Genotypus, doch ist hier an der Stelle der Schloßfortsatzleiste eine flache mediane Grube ausgebildet. Die Ventralschale ist unbekannt.

Äußerlich erinnert die Art *orthoides* an eine feingerippte *Orthis* oder *Dalmanella*.

Vorkommen: Expansusschiefer von Hedenstad.

21. *Oslogonites?* sp.

Taf. III, Fig. 1; Taf. VI, Fig. 4.

Die regelmäßige Spaltrippenskulptur der beiden abgebildeten Stücke mit stärkeren Hauptrippen und zahlreichen Nebenrippen (17—19 auf 5 mm), bei einer flachen Wölbung der quergestreckten Dorsalschale spricht für eine neue Art des *Estlandiidae*. Es kann hier wohl ein *Oslogonites* vorliegen; aber ähnliche Skulpturmuster kennt man auch in der Gruppe des *Progonambonites estonus* und *Inflexus*, bei *Progonambonites? volborthi* und sogar bei *Raunites*.[1] Bis auf die Klärung des Innenbaues und der Gattungszugehörigkeit soll nun der Name dieser neuen Art offen bleiben.

Vorkommen: Expansusschiefer von Krekling und Hedenstad.

22. *Antigonambonites planus* (Pander).

Taf. III, Fig. 13.

Der abgebildete, wohlerhaltene Steinkern aus Vestfossen (Nr. 2294, Mus. Oslo) ist 14 mm breit, 12 mm lang und zählt bis 11 Rippen auf 5 mm. Es muß ein relativ junges Exemplar der Art gewesen sein.

23. *Antigonambonites* cf. *soror* A. Ö.

Taf. V, Fig. 1.

Es liegen vor einige dorsale Steinkerne, von denen das besterhaltene (Nr. 2337, Mus. Oslo, Hedenstad, Koll. Auerdahl) abgebildet wurde. Es ist 15 mm breit und 12 mm lang, hat eine wohlentwickelte Diaphragmaschwelle und zählt 11 Rippen auf 5 mm. Es scheint uns eine gute Übereinstimmung mit dem Exemplar bei A. Ö. (*9*) Taf. XXXIII, Fig. 3 vorzuliegen. Das „cf" haben wir nun dennoch verwendet, weil die Einzelheiten der Skulptur und die Ventralschale der norwegischen Vertretern dieses Brachiopoden noch unbekannt sind.

---

[1] Der Name *Raunites* A. Öpik wird an Stelle von *Rauna* A. Öpik (*9*, *11*), gebraucht, da *Rauna* schon seit Jahren vergriffen ist. Vergl. Quenstedt (*15*).

Vorkommen: Expansusschiefer von Hedenstad; Megalaspiskalk Ostbaltikums.

Anchigonites n. gen.

24. *Anchigonites conulus* n. gen., n. sp.

Taf. III, Fig. 9—11.

Diese Art, gleichwie die folgende — *A. heinzi* und offenbar auch *Orthisina plana alta* Pahlen (*14*) bilden eine besondere Gruppe, indem hier die Pedikelschale *Vellamo*-artig hoch und die Brachialschale flach konkav erscheint.

Es besteht hier dieselbe Beziehung zwischen dieser Gruppe und den übrigen Antigonamboniten, welche zwischen *Vellamo* und dem *Clitambonites*, und zwischen *Progonambonites* und *Oslogonites* hinsichtlich der Höhe der Pedikelklappen besteht.

Anchigonites ist somit eine Gattung aus der Verwandtschaft des *Antigonambonites*, gekennzeichnet durch eine hohe Pedikelschale und flache inwärts gewölbte, konkave Brachialschale.

Bei den *Pro-* und *Antigonambonites* und *Raunites*-Arten sind die Wölbungsverhältnisse invers, strophomenoid, ausgestaltet. Mit *Anchigonites* haben wir, dagegen, einen rafinesquinoiden Fall der Wölbungsverhältnisse vor uns, indem die Wölbung von der Dorsalschale aus gesehen konkav-konvex erscheint. Noch ein Fall dieser Wölbungsart existiert unter den *Clitambonacea* — bei *Lacunarites* (*9*) und, vielleicht, bei *Pahlenella* (*9*).

Genotyp ist *Anchigonites conulus* n. sp. Der Holotyp ist auf Taf. III, Fig. 10 abgebildet (Pal. Mus. Oslo, Nr. 61094). Es ist ein ventraler Steinkern, 4 mm lang, 6 mm breit und 3,5 mm hoch. Die flache ungebogene Area steht senkrecht zum Schalenrande — ist also kataklin; die Δ-Platte war wohlentwickelt und trug das Foramen in der Nähe der Spitze; das Spondylium liegt hoch über den Boden der Schale, ist sehr kurz und wird durch ein kurzes starkes Mittelseptum gestützt; eine Diaphragmaschwelle erscheint wohlentwickelt; die Skulptur bestand aus scharfkammigen Rippen, ca. 5—6 auf 2,5 mm des Schalenrandes. Auch im Inneren der Dorsalschale (Taf. III, Fig. 9) finden wir eine Diaphragmaschwelle. Der Anker ist hier leider nicht erhalten. Die Wölbung der Schale scheint sogar etwas konkav gewesen zu sein.

Die Außenfläche einer Dorsalschale (ein Abdruck Taf. III, Fig. 11), zeigt quergeriefte scharfkammige Dachrippen, welche sich durch Einschalten vermehren. Auch diese Schale ist flach konkav, einwärts gewölbt. Am Schloßrande erkennt man den Abdruck des mittleren Schloßfortsatzes und der Chilidialplatten wieder. Es bestand hier kein einheitliches Chilidium, sondern zwei von der Mittellinie weit getrennte Chilidialplatten. Die dorsale Area (Interarea) samt der notothyrialen Plattform stehen senkrecht zur Schalenebene.

Von *Orthisina plana alta* Pahlen = *Anchigonites altus* (Pahlen) unterscheidet sich *conulus* durch die ganz ungebogene ventrale Interarea und durch die dachförmigen Rippen. Sonst scheinen die beiden Arten einander so ziemlich nahe zu sein.

Vorkommen: Expansusschiefer bei Krekling.

25. *Anchigonites heintzi* n. sp.

Taf. IV, Fig. 1, 2.

Eine Art mit gleichmäßig gebogener apsakliner ventralen und anakliner dorsalen Interarea, wohlentwickeltem Chilidium, ohne Schwellen und mit regelloser Rippenskulptur. Die Rippen sind ohne Regel verschieden stark ausgebildet, vermehren sich durch Einschaltung und Abspaltung und sind ebenfalls von dachartigem Querschnitt. Man zählt ca. 7 Rippen auf 2,5 mm (also ca. 15—16 auf 5 mm) des Schalenrandes.

Holotyp ist die Ventralschale Taf. IV, Fig. 2 (Pal. Mus. Oslo Nr. 61095). Sie ist 13 mm breit, 8,5 mm lang und 5 mm hoch. Das Spondylium ist gut entwickelt, frei vom Boden der Schale und wird in der Mittellinie durch ein kurzes kräftiges Septum gestützt. Außerdem finden wir unter dem Spondylium noch ein Paar wohlentwickelter, kräftiger Seitensepten wieder, so daß hier ein vollentwickeltes, musterhaftes Spondylium triplex[1] der „Gonamboniten“

---

[1] Der von A. Öpik (*9*) für die „Gonamboniten“ vorgeschlagene Ausdruck „spondylium triplex“ wird jetzt von B. Licharew (*16*) durch „spondylium pseudotriplex“ ersetzt: “at the same time I suggest the use of the name „spondylium triplex“ for such spondylia as have the septum actually formed of three different parts, two dental plates and a median partition; thus, the term

vorliegt. Die Δ-Platte ist gut ausgebildet, trägt eine Spur von einer medianen Naht und das Foramen in der Nähe der Spitze. Der Schalenumriß ist etwas mehr als ein Halbkreis.

Die Brachialschale Taf. IV, Fig. 1 zeigt ein relativ breites Chilidium, kleine Armträger, schwach ausgebildete Muskelnarben und ein nur wenig entwickeltes, kurzes Mittelseptum. Diese Schale ist 14 mm breit und 10 mm lang. Die Wölbung ist flach konkav.

Von der Art *Anchigonites conulus* unterscheidet sich die *heintzi* durch feinere Rippen und durch Fehlen der Schwellen. Von der *alta* (Pahlen) unterscheidet sie sich durch die regellosen und dachartigen Rippen. Weitere Vergleiche mit der *alta* sind nicht auszuführen, da die von Pahlen (*14*) gegebene Beschreibung der *alta* ganz ungenügend ist.

Vorkommen: Expansusschiefer von Krekling.

"triplex" (not "spondylium triplex" of Öpik) must replace the term "duplex" used in Kozłowski's conception". Es ist aber nun so, daß der Sinn des Ausdruckes „spondylium triplex" in der Brachiopodenkunde nicht mit Hilfe eines lateinischen und eines griechischen Wörterbuches bestimmt werden kann. Der Inhalt dieses Fachausdruckes ergibt sich aus dem Bau des Spondyliums der *Estlandiidae* (A. Ö. (*9*), S. 26), insbesondere der Art *Estlandia marginata* (Pahlen). Es ist ja gar nicht ausgeschlossen, daß ein anderer Forscher das Spondylium dieser Art ganz anders anschaut und dann ein neues griechisch-lateinisches Wort schaffen wird. Dann kommt noch ein anderer, — usw. Ferner wird man finden, daß der Fachausdruck „spondylium" im Falle wirbelloser Brachiopoden ganz unpassend ist, — und es muß beginnen ein Ummachen und Umtaufen, wie es noch niemals gegeben hat. Die Verwirrung in der Nomenklatur wird dabei enorm wachsen, indem die „alten" und „unpassenden" Ausdrücke, sind sie einmal gedruckt, nicht mehr zu streichen sind und immer mitgeschleppt werden müssen. Schon wegen dieser Not bleibe man beim Spondylium duplex wie es Kozłowski gebraucht und beim „spondylium triplex" im Sinne von A. Ö. (*9*), S. 26. Schließlich, falls B. Licharew ein „wirklich" dreifaches" Spondylium entdeckt hat, so ist auch das Lateinische und das Griechische unerschöpflich: „triplus", „trimetrus", „tripartitus", „tricompositus", „τρίμοιρος", „τρίπτυχος", — alles ohne oder mit „pseudo" oder „eu" gebraucht! — aber soviel verschiedene Spondylien wird wohl die Natur nicht geschaffen haben.

Ostracoda.

26. *Tetradella grewingki* (Bock).

Taf. II, Fig. 13.

Diese Art wurde von A. Öpik (*17*) als eine charakteristische Form des ostbaltischen oberen *Megalaspis*-Kalkes und des *expansus*-Kalkes erkannt. Bei Krekling kommt sie ebenfalls nicht selten vor und kann als Steinkerne und gut bestimmbare Außenabdrücke erhalten werden.

Beyrichia nana Brøgger, aus dem Ceratopygekalk, könnte ebenfalls ein Steinkern einer *Tetradella* sein, doch ist sie sicherlich von *T. grewingki* verscheiden.

Vorkommen: *expansus*-Schiefer von Krekling; *Megalaspis*-Kalk und *expansus*-Kalk (?) Ostbaltikums.

27. *Conchoprimitia socialis* (Brøgger).

Taf. I, Fig. 7.

Leperditia (Isochilina?) socialis Brøgger (*13*), S. 55.

Die Zugehörigkeit dieser Art zu *Conchoprimitia* A. Ö. (*17*), (*18*) geht hervor 1) aus der Lage des Sulcus, 2) aus dem Verlauf der Gefäßabdrücke, welche mit jenen der *C. tolli* (*18*) übereinstimmen und 3) aus der Kante am Hinterrande, welche der konzentrischen *Conchoprimitia*-Furche zu entsprechen scheint. Letzteres, gleichwie die glatte, unpunktierte Schale sind hier die wichtigsten Unterschiede gegenüber anderen *Conchoprimitia*-Arten.

Die *Conchoprimitia socialis* kann als ein Leitfossil der *expansus*-Zeit angesehen werden. Nach Brøgger soll sie auch im Orthocerenkalk zu finden sein. Dies ist aber eine andere Art, welche hier als *Conchoprimitia broeggeri* beschrieben wird.

Vorkommen: Expansusschiefer Norwegens, besonders von Krekling.

28. *Conchoprimitia broeggeri* n. sp.

Taf. I, Fig. 13.

Eine längliche *Conchoprimitia* mit glatter Schale, kurzer konzentrischer Furche bei der Hinterecke und ohne Sulcus und Höcker.

Der Gestalt nach erinnert sie an *C. glauconitica* (Kummerow) (*19*), unterscheidet sich aber durch die abgerundete ventrale Seite, glatte Schale und durch die kurze konzentrische Furche. Von *C. socialis* (Brøgger) unterscheidet sich die neue Art durch längliche Gestalt, durch das Fehlen des Sulcus und Höckers und durch die besser ausgebildete konzentrische Furche.

Holotyp ist die abgebildete Klappe aus dem Orthocerenkalk von Slemmestad, Norwegen (Pal. Mus. Oslo Nr. 61096). Dimensionen: Länge 4 mm; Höhe 2,5 mm; Länge des Schloßrandes 2,5 mm.

Vorkommen: Orthocerenkalk (3 c γ) des Oslogebietes, besonders Slemmestad.

Derivationes nominum.

Anchigonites ἄγχι — nah; *gonites* — aus „Gonambonites" durch Weglassen der Silben „ambo" gebildet. „Den Gonamboniten nahe stehend".

Broeggeri (*Conchoprimitia*) nach dem norwegischen Geologen W. C. Brøgger genannt.

Conulus (*Anchigonites*) wegen der kleinkonischen Gestalt.

Costellatus (*Oslogonites*) mit feinen Rippen bedeckt.

Heintzi (*Anchigonites*), nach Herrn Konservator Dr. A. Heintz in Oslo benannt.

Holtedahli (*Ingria*), nach Herrn Prof. O. Holtedahl in Oslo benannt.

Kreklingensis aus Krekling in Norwegen herstammend.

Norvegica (*Ranorthis*), die norwegische.

Novitas (*Orthis*), Neuheit.

Perundosa (*Inversella*), ganz mit Wellen bedeckt.

Ranorthis, Ran — Name aus der nordischen Mythologie, und *Orthis*.

Secunda (*Apomatella*), die zweite (zweite bekannte Art der Gattung).

Simplex (*Paurorthis parva*), einfach, wegen den einfachen Rippen.

Occidentalis (*Ingria*), westlich.

Orthoides (*Oslogonites*) *Orthis*-artig.

Oslogonites, Oslo und *gonites* (s. unter *Anchigonites*).

Literatur.

(*1*) A. Öpik, „Über einen kambrischen Graptolithen aus Norwegen". Norsk geologisk tidsskrift. Bd. XIII, 1933.

(*2*) Ch. Schuchert and G. A. Cooper, „Brachiopod Genera of the Suborders Orthoidea and Pentameroidea". New Haven, Conn. 1932.

(*3*) Ch. Walcott, „Cambrian Brachiopoda". U. S. Geological Survey. 1912.

(*4*) W. Dalman, „Uppställning och Beskrifning af de i Sverige funne Terebratuliter." Kungl. Vetenskapsakademiens Handlingar. Stockholm 1828.

(*5*) Ch. H. Pander, „Beiträge zur Geognosie des Russischen Reiches." St. Petersburg 1830.

(*6*) E. de Verneuil, „Paléontologie" in „Geologie de la Russie d'Europe et des montagnes de l'Oural" par R. I. Murchison etc. Londres, Paris, 1845.

(*7*) R. Kozłowski, „Sur certains Orthidés ordoviciens etc." Bibliotheka Universitatis Liberae Poloniae. Varsaviae 1927.

(*8*) A. Öpik, „Über einige *Dalmanellacea* aus Estland". Publ. Geol. Inst. Nr. 32. Tartu 1933.

(*9*) — „Über Klitamboniten." Publ. Geol. Inst. Nr. 39. Tartu 1934.

(*10*) — „Über die Plectellinen". Publ. Geol. Inst. Nr. 28. Tartu 1932.

(*11*) — „Über Plectamboniten". Publ. Geol. Inst. Nr. 31. Tartu 1933.

(*12*) O. Holtedahl, „The Strophomenidae of the Kristiania Region". Kristiania 1916.

(*13*) W. C. Brøgger, „Die Silurischen Etagen 2 und 3". Kristiania 1882.

(*14*) A. v. Pahlen, „Monographie der baltisch-silurischen Arten der Brachiopodengattung *Orthisina*". St. Petersburg 1877.

(*15*) A. Öpik, Fußnote bei: W. Quenstedt, Referat zu A. Öpik, „Über Klitamboniten" Neues Jahrbuch etc. 1935.

(*16*) B. Licharew, „The interior Structure of *Camarophoria* King". American Journal of Science, Bul. XXXII, 1936.

(*17*) A. Öpik „Ostracoda from the lower Ordovician *Megalaspis*-limestone of Estonia and Russia". Publ. Geol. Inst. Nr. 44. Tartu 1935.

(*18*) — „Ostracoda from the Ordovician Uhaku and Kukruse Formation of Estonia". Publ. Geol. Inst. Nr. 50. Tartu 1937.

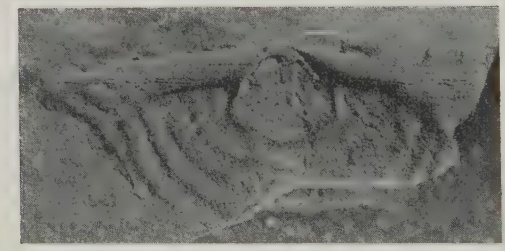
(*19*) E. Kummerow, „Beiträge zur Kenntnis der Ostracoden und Phyllocariden aus nordischen Diluvialgeschieben". Jahrbuch Preuss. Geol. Landesanstalt. Bd. XLIV, 1924.

(*20*) E. O. Ulrich and G. A. Cooper, „New Genera and Species of Ozarkian and Canadian Brachiopods". Journal of Palaeontology Nr. 7. 1936.

Nachtrag.

1. Inzwischen (August 1938) ist “Ozarkian and Canadian Brachiopoda” by E. O. Ulrich and G. A. Cooper erschienen, wo die Orthide *Archaeorthis* beschrieben vorliegt. Wegen der divergierenden vascula media stellen wir *Archaeorthis* unter die *Billingsellidae*. Die *Ranorthis norvegica* (S. 109) scheint nun der *A. parviuscula* nahe zu stehen. So ist die *Archaeorthis*-Kallosität bei *Ranorthis* Taf. 2, Fig. 2 sichtbar. *R.* hat aber einen unterhöhlten spitzen Schloßfortsatz und einen dorsalen Sinus; das ventrale Muskelfeld ist herzförmig, das dorsale—groß. Bei *A.* dagegen fehlt der Schloßfortsatz, das ventrale Muskelfeld ist oval, das dorsale—klein, der Habitus ist dalmanelloid (bei *Ranorthis*—„leptelloid“). Somit ist *R.* auch gegenüber der *Archaeorthis* einen selbständige Gattung.

2. Die hier abgebildete Pedikelschale von *Inversella perundosa* n. sp. ist am Rande 24 mm breit, hat eine recht hohe Interarea; eine Deltidialplatte fehlt. Das dreieckige Muskelnarbenfeld ist kurz und dreiteilig. Die Zähne und die Zahnstützen sind schwach.



Inversella perundosa n. sp., Nr. 2334 Mus. Oslo (Rückseite von Taf. 3, Fig. 12), mit Hilfe von HCl ausgesätzt. × 2,5.

TAFELN

DIE ABBILDUNGEN SIND VOM VERFASSER MITTELS
DER CHLORAMMONIUM-METHODE PHOTOGRAPHISCH
ANGEFERTIGT WORDEN

Tafel 1.

Fig. 1—5. *Orthis kreklingensis* n. sp. Fig. 1 und 2 gehören einer und derselben brachialen (Holotyp. Pal. Mus. Oslo. Nr. 61090) und Fig. 4—5 einer einzigen Pedikelschale zu. × 3,8 der nat. Größe.

» 6. *Productorthis* cf. *eminens* (Pander), künstl. Abdruck eines Hohlraumes. × 3,8 der nat. Größe.

» 7. *Conchoprimitia socialis* (Brøgger). × 11,2 der nat. Größe.

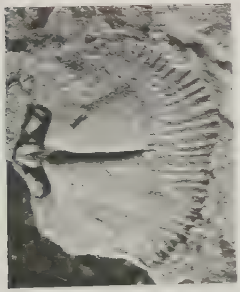
» 8—9. *Paurorthis parva* (Pander), ventraler und dorsaler Steinkern. Nach dem Steinkern Fig. 8 ist die Rekonstruktion Textabb. 2 angefertigt worden. × 3,8 der nat. Größe.

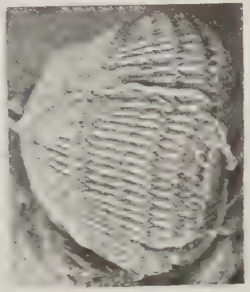
» 10. *Paurorthis* n. sp. (sine nomine), dorsaler Steinkern. × 3,8 der nat. Größe.

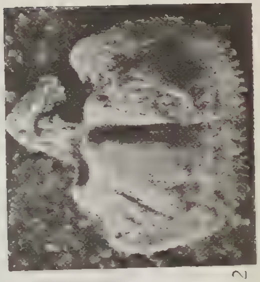
» 11—12. *Paurorthis parva simplex* nov. subsp., ein gerontisches Exemplar als Steinkern (in Dorsalansicht, Fig. 5) und künstl. Abdruck der Skulptur (Fig. 4). Holotyp. Pal. Mus. Oslo. Nr. 61091. × 3,8 der nat. Größe.

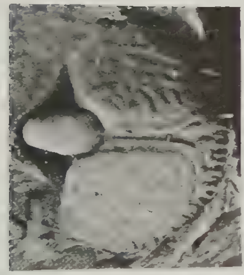
» 13. *Conchoprimitia broeggeri* n. sp. aus dem Orthocerenkalk von Slemmestad, Koll. des Verfassers. × 11,2 der nat. Größe.

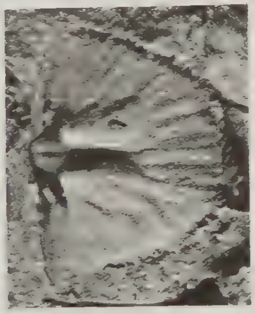
Die Stücke Fig. 1—12 stammen aus den Aufschlüssen des *expansus*-Schiefer bei Krekling. Koll. des Verfassers.

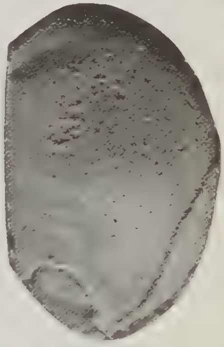

9

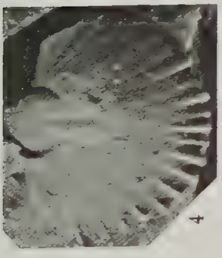

11

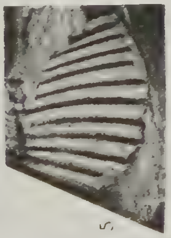

12

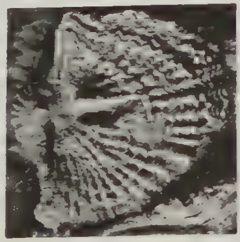

8

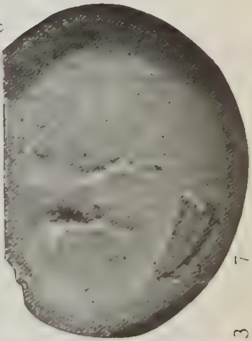

10

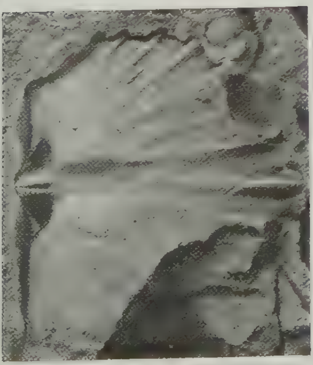

13

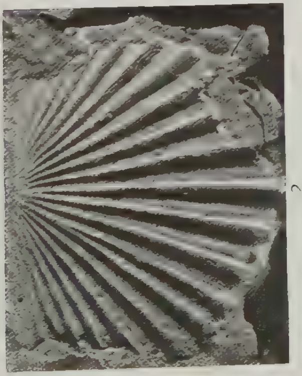

4

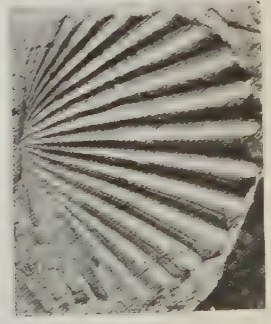

5


6


7


1


2


3

Tafel 2.

Fig. 1. *Orthis kreklingensis* n. sp. (links; dasselbe Stück als Plastolinabdruck in Taf. I, Fig. 3); rechts *Ranorthis norvegica*, n. gen., n. sp. dasselbe Fig. 7, 8. Fast × 3,8 der nat. Größe.

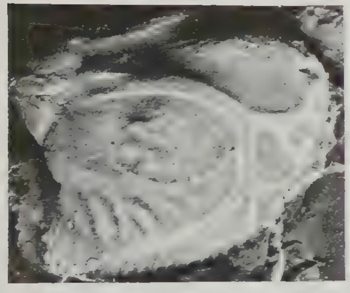
» 2—9. *Ranorthis norvegica* n. sp. Fig. 2: Ein Querschnitt (Dünnschliff), × 10,5 der nat. Größe; Fig. 3: Abdruck der Innenfläche einer Dorsalschale im Gestein; Fig. 4: künstlicher Abdruck einer Ventralschale; Fig. 5: Abdruck der Außenseite einer Dorsalschale im Gestein; Fig. 6: Ventrales Steinkern mit mäßig ausgebildeten Mantelgefässen; Fig. 7—8: Ein ventraler Steinkern in verschiedener Stellung; Holotyp. Pal. Mus. Oslo. Nr. 61089; Fig. 9: Der Steinkern einer gerontischen Ventralklappe. Fig. 3—6: × 3,8 der nat. Größe. Fig. 7—9: × 8,2 der nat. Größe.

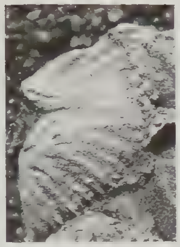
» 10. *Apomatella ingrica*. (Pahlen). Ventraler Steinkern. × 3,8 der nat. Größe.

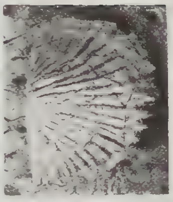
» 11, 12. *Apomatella secunda* n. sp., Gesteinsabdruck (Fig. 12) und dessen Plastolinnachbildung, × 3,8 der nat. Größe. Holotyp. Pal. Mus. Nr. 61097.

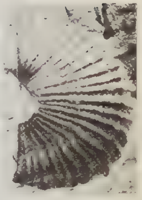
» 13. *Tetradella grewingki* (Bock), Gesteinsabdruck, × 15 der nat. Größe.

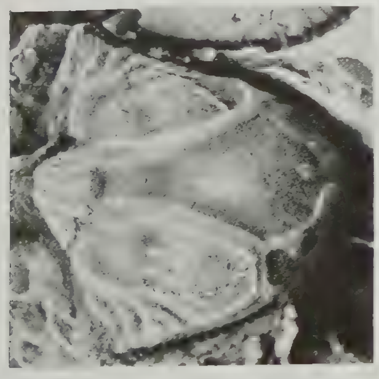
Alle Stücke stammen aus Krekling, Expansusschiefer. Koll. des Verfassers.

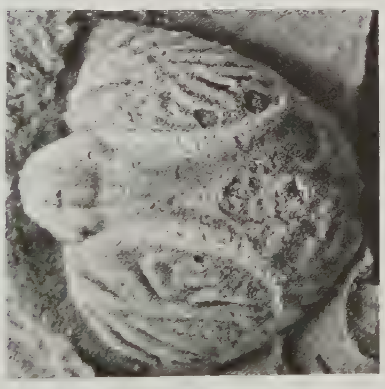

8

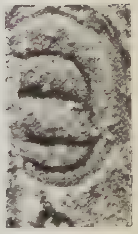

10

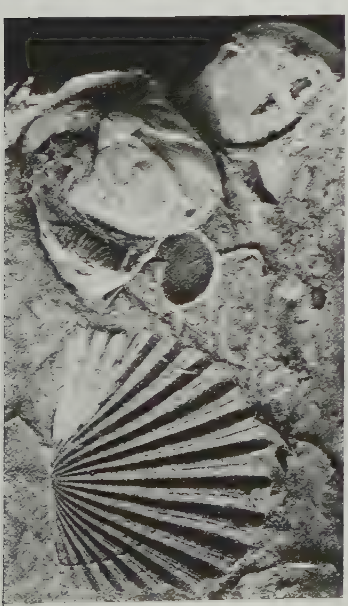

11

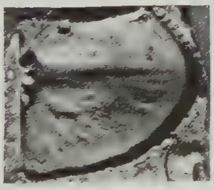

12

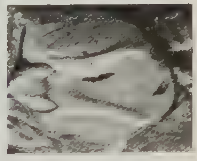

7

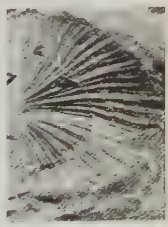

9

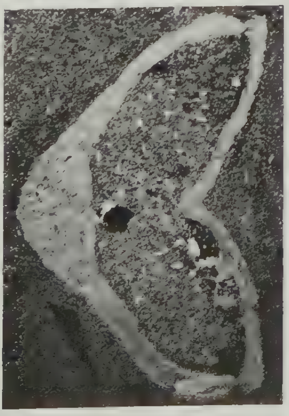

13

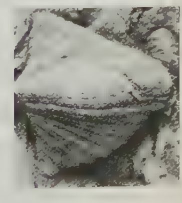

1


3


6


5


2


4

Tafel 3.

Fig. 1. *Oslogonites?* sp., eine teilweise zerstörte Dorsalschale (vergl. Taf. VI, Fig. 4).

» 2—8. *Oslogonites costellatus*, n. gen., n. sp. Fig. 2—4 sind Abbildungen einer und desselben Ventralschale. Holotyp. Pal. Mus. Oslo. Nr. 61093; Fig. 5 und 6 sind Plastolinabdrücke einer Dorsalschale.

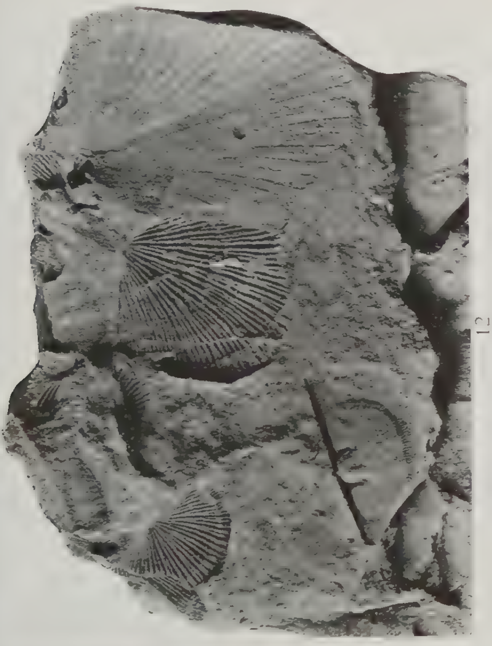
» 9—11. *Anchigonites conulus* n. gen., n. sp. Fig. 9: Innenabdruck einer Dorsalschale; Fig. 10: Innenabdruck einer Ventralschale (Holotyp. Pal. Mus. Oslo. Nr. 61094) und Fig. 11: Abdruck der Außenseite einer Dorsalschale.

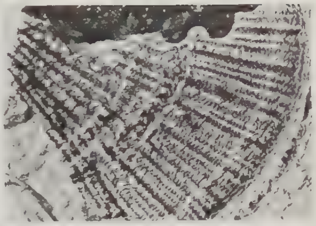
Fig. 1—11: × 4 der nat. Größe und stammen aus dem Expansusschiefer von Krekling. Koll. des Verfassers.

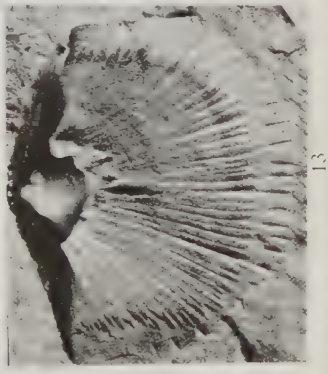
» 12. Brachiopoden im Expansusschiefer von Rokstadåsen, Hedenstad. Pal. Mus. Oslo. Nr. 2334. × 2,2 der nat. Größe. Rechts: *Rafinesquina* (?) sp. Holtedahl; links unten: *Ingria occidentalis* n. sp. (vergl. Taf. V, Fig. 3); in der Mitte und links: *Oslogonites orthoides*, zwei Abdrücke von Dorsalschalen. Die Gegenseite des Stückes sieh Nachtrag 2 (*Inversella perundosa*).

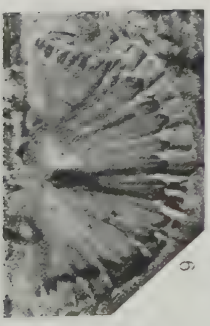
» 13. *Antigonambonites planus* (Pander), Expansusschiefer von Vestfossen, Pal. Mus. Oslo. Nr. 2294. × 3,2 der nat. Größe.

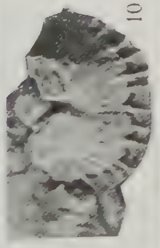
» 14. *Oslogonites orthoides* n. sp., die Skulptur der Dorsalschale von Taf. V, Fig. 2, × 4 der nat. Größe.

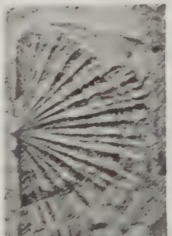

12

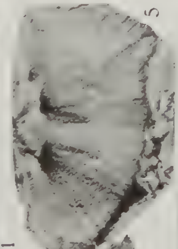

14

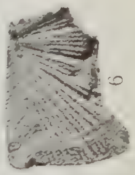

13

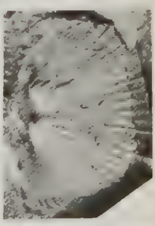

9

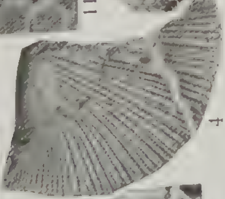

10

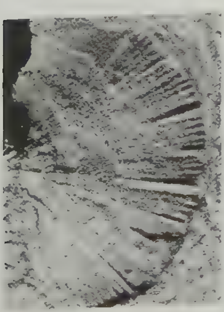

11

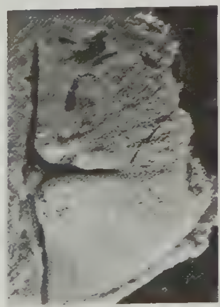

5

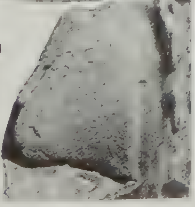

6

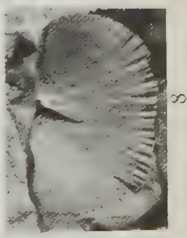

7


4


1


2


3


8

Tafel 4.

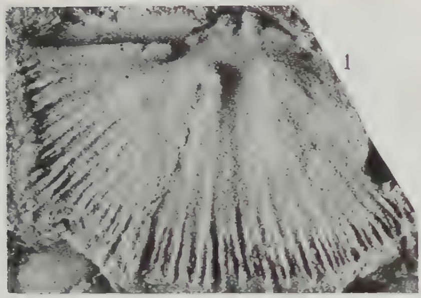
Fig. 1—2. *Anchigonites heintzi* n. sp., dorsaler (Fig. 1) und ventraler (Fig. 2) Steinkern. Holotyp. Pal. Mus. Oslo. Nr. 61095. × 3,8 der nat. Größe.

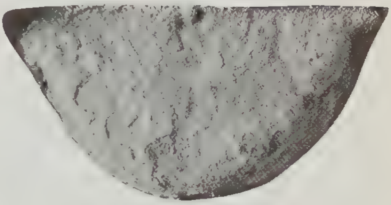
» 3. *Ingria holtedahli* n. sp., eine vollständige Dorsalschale. Holotyp. Pal. Mus. Oslo. Nr. 61092, × 5 der nat. Größe.

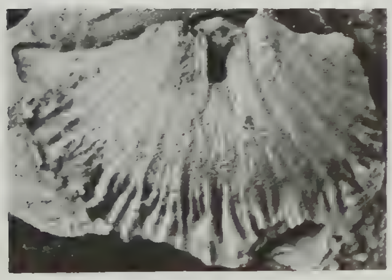
» 4. *Ingria?* sp. × 5 der nat. Größe.

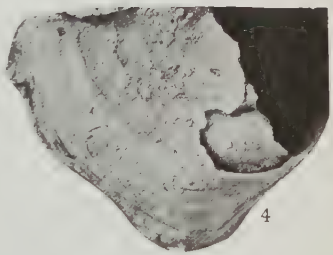
» 5—9. *Ingria holtedahli* n. sp. Fig. 5, 6: Oberflächenskulptur und Steinkern einer Dorsalschale; Fig. 7: Möglicherweise zur Dorsalschale Fig. 6 zugehörige Ventralklappe. Fig. 8, 9: Zwei Dorsalklappen. Fig. 5: × 8 der nat. Größe. Fig. 6—9: × 4 der nat. Größe.

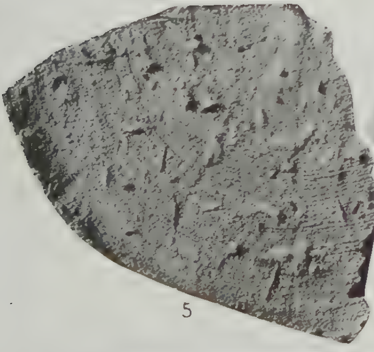
Alle Stücke stammen aus dem Expansusschiefer von Krekling. Koll. des Verfassers.

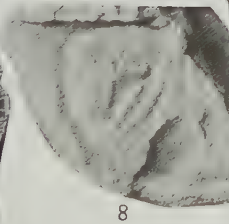

1

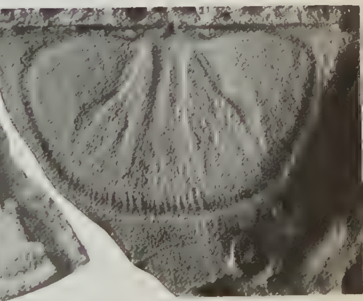

3

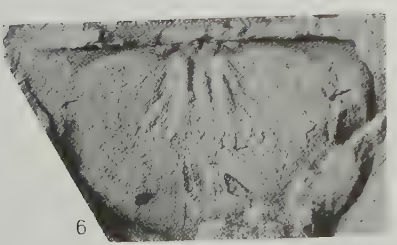

2

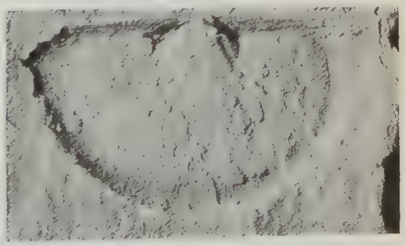

4


5


8


9


6


7

Tafel 5.

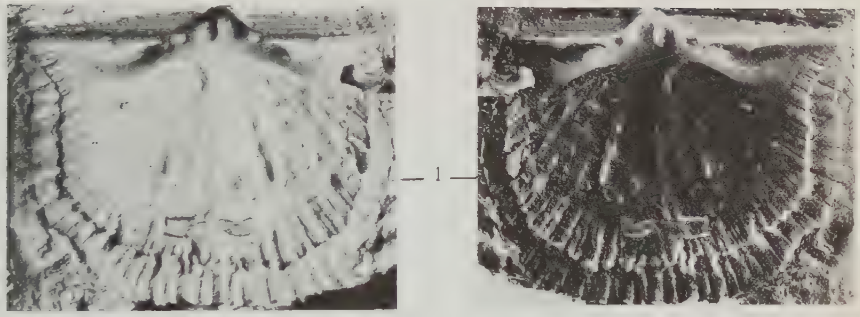
Fig. 1. *Antigonambonites* cf. *soror.* A. Ö., ein dorsaler Steinkern, als Positiv (rechts) und Negativ (links) abgebildet. Rokstadåsen, Hedenstad, Expansusschiefer. Pal. Mus. Oslo. Nr. 2337. × 3,5 der nat. Größe.

„ 2. *Oslogonites orthoides* n. sp., ein dorsaler Steinkern als Positiv (rechts) und als Negativ (links) abgebildet. Beim Negativ bleiben dennoch die Armträger durch die Gesteinsmasse verdeckt. Die Skulptur dieses Exemplares ist Taf. III, Fig. 14 wiedergegeben. Rokstadåsen, Hedenstad, Expansusschiefer. Pal. Mus. Oslo. Nr. 2334. × 3,5 der nat. Größe.

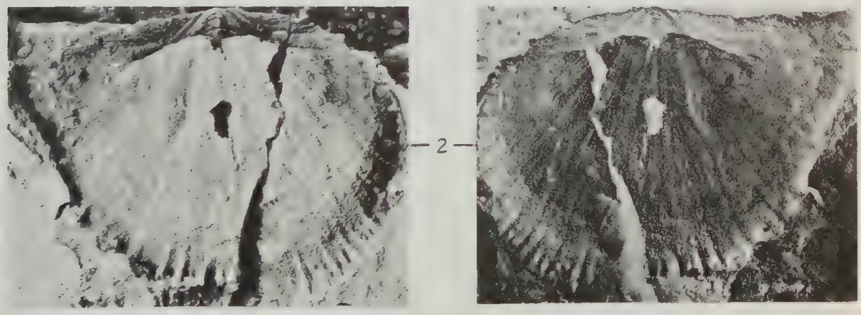
„ 3—4. *Ingria occidentalis* n. sp. Fig. 3: Ein ventraler Steinkern, derselbe in Taf. III, Fig. 12. × 4,3 der nat. Größe; Fig. 4: Abdruck einer Ventralschale, × 3 der nat. Größe. Expansusschiefer von Hedenstad. Holotyp. Pal. Mus. Oslo. Nr. 2334.

» 5. *Orthis novitas* n. sp., Expansusschiefer von Rokstadåsen, Hedenstad. Holotyp. Pal. Mus. Oslo. Nr. 2338. × 2,9 der nat. Größe.

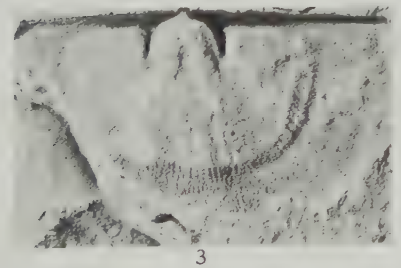
» 6. *Inversella perundosa* n. sp., Abdruck einer Dorsalschale. Expansusschiefer von Rokstadåsen, Hedenstad. Holotyp. Pal. Mus. Oslo. Nr. 2332. × 1,9 der nat. Größe.



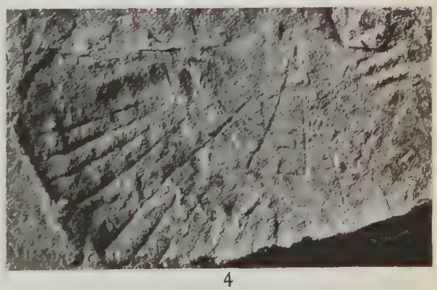
1



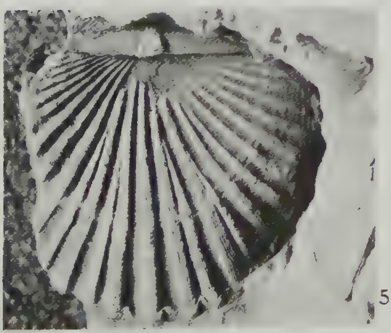
2



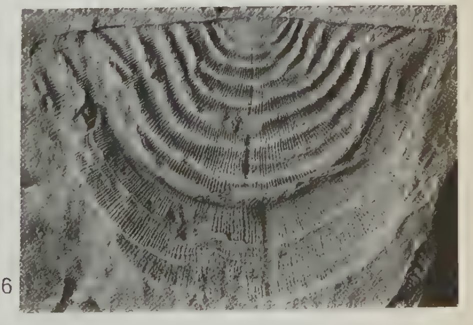
3



4



5



6

Tafel 6.

Fig. 1. *Clitambonites* cf. *norvegicus* (Brøgger), ventraler Steinkern. Expansusschiefer von Vestfossen. Pal. Mus. Oslo. Nr. 2296. × 3,5 der nat. Größe.

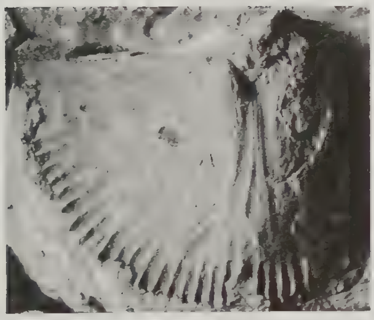
» 2. *Ranorthis norvegica,* n. sp., eine Gruppe im Expansusschiefer von Hedenstad. Pal. Mus. Oslo. Nr. 2350. × 3,8 der nat. Größe.

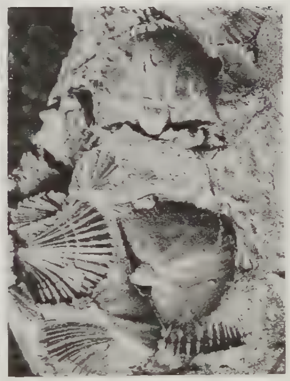
» 3. *Clitambonites* cf. *norvegicus* (Brøgger), dorsaler Steinkern aus dem Expansusschiefer von Vestfossen. Pal. Mus. Oslo. Nr. 2295. × 3,4 der nat. Größe,

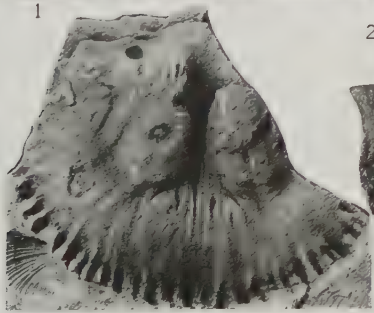
» 4. *Oslogonites?* sp., dorsaler Abdruk. Rokstadåsen, Hedenstad. Pal. Mus. Oslo. Nr. 2336. × 2,8 der nat. Größe.

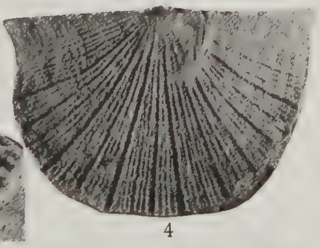
» 5. *Ladogiella?* sp., Expansusschiefer von Tøien, Oslo. Pal. Mus. Oslo. Nr. 20135. × 3,5 der nat. Größe.

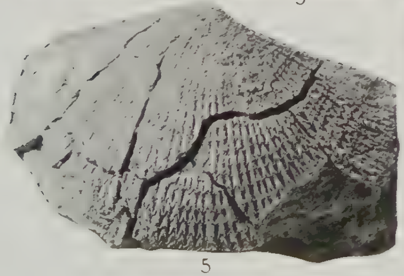
» 6. *Paurorthis parva* (Pander), ein ventraler Steinkern aus dem Expansusschiefer von Krekling. Koll. des Verfassers. × 4,5 der nat. Größe.

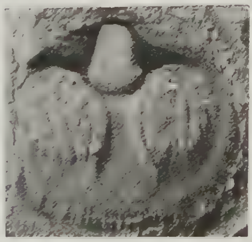

1


2


3


4


5


6

STUDIES ON TRILOBITE MORPHOLOGY

PART I. THE THORACIC APPENDAGES AND THEIR PHYLOGENETIC SIGNIFICANCE

BY

LEIF STØRMER

WITH 12 PLATES AND 35 FIGURES IN THE TEXT

Abstract. Conflicting conceptions as to the more detailed structure of the trilobite legs, have necessitated a re-study of the existing material. While most trilobite legs preserved are exposed in ordinary cleaned specimens, the much disputed structures in *Ceraurus* and *Calymene* are based on a number of singular slides which naturally are very difficult to interpret.

In order to obtain a more accurate knowledge of the construction of the limbs, the author has made section-series (grinding) of *Ceraurus*-specimens from Walcott's original collection. By photographing the ground surfaces at intervals of about 1/20 mm, material was provided which permits the preparation of highly magnified models on glass plates and in wax or plaster of the thoracic limbs.

The models demonstrate the structure of the tergites, indicate the position of muscles and elucidate the biramous appendages, particularly the little known proximal portion and the distal gill-blades or filaments. The series demonstrate a precoxal segment, and the lateral branch, generally called the exopodite, is attached to this basal segment and therefore represents a preepipodite, not an exopodite or an epipodite. The presumed "spiral structures" are only due to a special preservation of the gill-blades.

A re-study, partly of the literature, of other limb-bearing trilobites shows that the trilobite appendage is a very characteristic and conservative structure, a type of leg also found in the crustacean-like arthropods of the Middle Cambrian. Relations of the trilobite limb are evidently found in the appendages of merostomes and arachnids and possibly insects. The crustaceans, however, show little relationship although they have distinct biramous appendages. The lateral branch in the crustacean leg is attached to the basipodite and therefore not homologous with the gill-branch in the trilobite leg. The zoological position of the trilobites will be considered more in detail in a second part dealing with cephalic appendages and describing section-series through the cephalic region of *Ceraurus*.

Contents.

Introduction 144
Historical Review 147
Systematic Description of Trilobite Appendages 153
  Introductory Remarks on Species known and Terminology applied 153
  Section Series of *Ceraurus* 157
    Previous Research 157
    Methods applied 160
    Structure of Thoracic Tergites 165
    Ventral Membrane and "Internal Organs" 169
    Thoracic Appendages 174
    Summary and Results on the Study of *Ceraurus* 190
  Appendages of other Trilobite Genera 191
    Calymene 191
    Neolenus and *Kootenia* 192
    Triarthrus 202
    Cryptolithus 209
    Isotelus 213
    Phacops and *Asteropyge* 213
  General Structure of Trilobite Appendage 218
  Function of Trilobite Appendage 222
The Trilobite Limb Compared with Appendages of other Arthropods 228
  Lower Paleozoic arthropods 228
  Chelicerata 240
    Merostomata 240
    Arachnida 248
  Insecta 258
  Crustacea 261
The Phylogenetic Significance of the Trilobite Limb 266
Literature to which Reference is made 269

Introduction.

The Arthropod Phylum is composed of a large number of highly differentiated animal groups. Their mutual relationship is often difficult to establish, but within one group a common plan of construction is recognized in spite of considerable specialisation. The fossil record which is constantly increasing, presents valuable contribution to the knowledge of the affinities between the different classes of arthropods. Most groups, however, are traced back to the Cambrian and since the earlier Precambrian forms are unknown, and probably will remain so to a large extent, we are forced to deduce the phylogeny from the study of morphological structures of later fossil and recent arthropod species.[1]

The copious literature dealing with the phylogeny of the Arthropoda, generally arrives at the assumption of a monophyletic origin of the phylum from annelids, but other workers, especially in later years, have advocated a polyphyletic origin from different families of annelid worms.

Naturally the early Paleozoic trilobites with their simple and uniform structures, have played an important part in this discussion. In the conception of most authors, the trilobites were primitive arthropods which stood near the ancestors of the main arthropod classes of to-day.

A thorough study of the morphological structures of trilobites is therefore of primary importance with regard to the question of arthropod phylogeny. Since the ventral appendages of trilobites were discovered about fifty years ago, considerable research and discussion have been carried out to establish their exact structures. But although much work has been done, the structures found have been disputed and have not been able to show enough details to permit complete reconstructions of the limbs.

The present paper deals with new studies of limb-bearing, mostly American, trilobite specimens. A preliminary report was published in the American Journal of Science (1933). The studies were made partly in the United States of America and partly in Norway. During my stay in U. S. A. in 1931—1932 I studied the original trilobite collections and provided material which I have worked out in the later years in Norway.

At Harvard University, Cambridge, Mass., Professor Dr. T. Barbour and Professor Dr. P. E. Raymond offered me the best opportunities of studying the valuable trilobite collections preserved in the Museum of Comparative Zoology. I had acces to Dr. Ch. D. Walcott's original slides of *Calymene* and *Ceraurus* and obtained through the kind assistance of Dr. Raymond, x-ray photographs of pyritized specimens of *Triarthrus.* Dr. Raymond also provided fragments of Walcott's original material (the original locality not accessible anymore) and permitted me to make serial sections of these pieces. About 200 photographs were taken of the different sections ground, and the photographs comprise several series of which two have 65 successive sections. I wish to express my gratitude also to Professor G. H. Parker and Professor R. Macdonald for my having had the opportunity of making the section-series in the Biological Institute at Harvard University.

---

[1] Arthropod remains from the Precambrian have recently been described by T. W. E. David and R. J. Tillyard (Memoir on Fossils of the Late Pre-Cambrian (Newer Proterozoic) from the Adelaide Series, South Australia. Sidney 1936), but judging from the published descriptions and illustrations the fossils are too fragmentarily preserved to permit at more detailed reconstruction such as is attempted by Tillyard.

At Yale University, New Haven, Conn. I am indebted to Professor Dr. Ch. Schuchert and Professor Dr. C. O. Dunbar for showing me Beecher's and Raymond's original material of *Triarthrus* and *Cryptolithus.*

In the National Museum in Washington, D. C., Dr. Ch. Resser kindly permitted me to study Dr. Walcott's brilliant collections of Middle Cambrian trilobites and other arthropods from the Burgess Shale of British Columbia. These extremely interesting fossils which have the most delicate structures preserved, deserve a new investigation. The silver-white films representing the fossils, apparently are subject to considerable fading which makes future studies gradually more difficult.

In the Paleontological Museums of the University in Oslo, the section-series and other material were worked out. I wish to express my thanks to the Curator Dr. A. Heintz for all the technical facilities put at my disposal. In preparing the glass and wax models and the many illustrations I have had valuable technical assistance from Miss Borgny Bay, Miss. Unn Hofseth and Miss Lily Monsen.

At the Norwegian Dentical Highschool Professor Dr. B. Bergersen kindly permitted me to make the wax plates for wax models at his institute.

A plaster model was prepaired at the Paleozoological Department of the "Naturhistoriska Riksmuseet" in Stockholm where Professor Dr. E. A. Stensiö gave me valuable advice in the preparation of models from section-series.

The present studies were made possible through grants from "Fridtjof Nansens Fond til Videnskabenes Fremme" and "Universitetets Jubileumsfond".

Historical Review.

Studies on the morphology and zoological position of trilobites have created an extensive literature which often is difficult to trace in papers dealing chiefly with systematic descriptions of genera and species. The conception of the nature of trilobites has changed from time to time and it is necessary in this connection to review the more important contributions to our knowledge of the morphological structures and to outline the different interpretations presented by the workers in the field. The earlier papers are recorded more in detail by Raymond (1920).

The solid dorsal shell with its doublure and attached hypostoma, has in its main features been known for a long time through the large number of species described. The ventral appendages remained unknown to the later part of the last century when Billings (1870) found jointed appendages in the Ordovician genus *Isotelus*. Concerning the zoological position of trilobites, the earlier workers acknowledged their arthropod nature, but as long as the appendages were practically unknown, the further classification was based on the dorsal shell only. Burmeister (1843) referred the trilobites to the branchiopods on account of the presence of a hypostoma, a variable number of body-segmets and from the negative evidence that the lack of distinct appendages in trilobites indicated softer appendages like the foliaceous limbs of the branchiopods. Among the zoologists Dohrn (1871), Packard (1872) and Lankaster (1904, 1905) strongly pointed out the general resemblance in the three-lobed dorsal shields of both trilobites and xiphosurans and paid special attention to the larval "trilobite stage" of *Limulus*.

Walcott's (1879, 1881) discovery of ventral appendages in *Calymene* and *Ceraurus* from the Ordovician Trenton Limestone did not seem to contradict the views of a relationship to the merostomes. By means of a number of thin sections Walcott demonstrated the presence of numerous uniform appendages of which each consisted of a jointed endopodite and, as he deduced from the sections, a pair of peculiar spiral structures forming the exopodites. No antennæ were found and a presumed bulbous shape of the last pair of cephalic appendages recalled the swimming legs of eurypterids to a certain extent. Lankaster (1904, 1905) strongly emphasized the arachnid nature of the trilobites which he regarded as a subclass of the Arachnida. This view was maintained also after the important discovery of multi-jointed antennae in well-preserved specimens of the Ordovician species *Triarthrus eatoni* (= *T. becki*). A pair of antennæ was first demonstrated by Valient in 1884, but a detailed knowledge both of the antennæ and the other ventral appendages was presented to science through a number of papers by Beecher (1893, 1895 a, b, 1896, 1902), Matthew (1893) and Walcott (1894). Thanks to the very skilful preparation carried out by Beecher through many years, the pyritized specimens of *Triarthrus* and *Cryptolithus* were able to give detailed knowledge on the construction of the limbs. Beecher's work was completed by Raymond (1920) in a larger monograph mentioned below, and additional knowledge was given also by Walcott (1921).

The results obtained from the studies of *Triarthrus* and *Cryptolithus* were briefly: The trilobites had one pair of preoral, multijoined and flexible antennæ (or antennullæ), a small metastoma behind the mouth, four pairs of biramous cephalic appendages which deviate from the rest of the limbs only by their stronger developed gnathites, and a variable number of uniform limbs consisting of a six-segmented endopodite with distal spines and a multi-jointed and setiferous exopodite attached to the coxopodite, or to the coxopodite and basipodite at the same time.

The evidence obtained by these investigations gave a much more solid base for the determination of the zoological position of trilobites. Both Beecher (1895 a) and Bernard (1894) regarded the antennae and biramous appendages as typical crustacean characteristics which proved the trilobites to be true crustaceans, probably branchiopods or early offshoots of the line leading from annelids to modern crustaceans as Bernard (l. c. p. 429—430) expresses it.

The conception of a crustacean nature of the trilobite was apparently strongly supported by the important find of well-preserved appendages in specimens of *Neolenus* and *Kootenia* discovered by Walcott in the Middle Cambrian Burgess Shale of British Columbia. The structures found corresponded in general with those described in *Triarthrus*. The antennæ and biramous appendages were similar, but a pair of multi-jointed and flexible caudal rami had not been demonstrated in the Ordovician form. Already in his first description, Walcott (1912) abandons his earlier view of the trilobites approaching the merostomes, and points out that the presence of caudal rami supports the current opinion that the trilobites were derived from the same stock as *Apus*. In later papers, Walcott (1918, 1921) presents new and valuable material towards the elucidation of the trilobite appendages. The earlier materials of *Calymene* and *Ceraurus* especially, are taken up for new investigation and discussion, and new reconstructions of the limb-bearing forms are attempted. Walcott presumed to trace several jointed and unjointed epipodites attached to the coxa besides the two branches previously known. These structures, depicted rather differently in the two cited papers, have been doubted by Raymond (1920) and Størmer (1933) although the existence of the epipodites in *Neolenus* was confirmed in one specimen by a special committee of three paleontologists (Walcott 1921). Concerning the zoological position of the trilobites Walcott concludes very definitely that they were primitive crustaceans and points out the resemblance, in the construction of the limbs, to the primitive malacostracan genus *Anaspides*. Jaekel (1901) assumed to find appendages preserved in a Bohemian trilobite *Ptychoparia striata* (Emmrich) and compared the biramous limbs of trilobites with the legs of the schizopod *Gnathopheusia*.

In his extensive monograph on the trilobite appendages, Raymond (1920) completes Beecher's earlier work and gives further description and discussions of the material known. He rejects the spiral exopodites and the epipodites emphasized by Walcott and gives more simple reconstructions of the limbs. Pointing out the difference between the foliaceous limbs of branchiopods and the biramous limbs of trilobites, he follows Carpenter (1903, p. 486) in the assumption of a relationship to the copepods. Raymond mentions that the trilobite limb deviates from the supposed primitive crustacean limb in having one joint in the protopodite instead of two (or three). The lack of a second pair of antennae, typical of crustacean, is explained as due to a reduction of the corresponding cephalic segment.

Broili (1929, 1930) describes the appendages of Devonian species of *Phacops* and *Asteropyge* which seem to show the same general characteristics as the older genera.

Practically all the modern palaeontologists follow in general the American authors in their conception of the trilobites as a subclass of the crustaceans and that the trilobites, although true crustaceans, were closely related also to the ancestors of the merostomes and arachnids (Raymond 1935). The crustacean nature of the trilobites has been strongly emphasized by Pompeckji (1912), Richter (1926, 1932), Warburg (1925), Broili (1933) and others. Pompeckji and Richter (1926) point out the conservativeness of the plan of construction in the trilobite body, a characteristic suggesting that they were not the ancestors of younger arthropod groups.

A different view was suggested by Størmer (1933) who demonstrated the probable homology between the trilobite legs and the abdominal feet of *Limulus*. The author points out (1934 a p. 79) that the common limb-structures in trilobites and merostomes strongly indicate that the Trilobita, Limulava and Chelicerata belong to the same stock of arthropods.

From zoological hands valuable contributions have recently been presented to the interpretation of the trilobite morphology. As mentioned above, the zoologists of the late century strongly pointed out the xiphosuran plan of construction of the trilobite body. Lankaster (1904, 1905) maintained this view also after the discovery of the appendages, but Calman (1919, 1926), the specialist on crustaceans, is inclined to regard the trilobites as member of this group, in spite of the absence of the carapace fold so characteristic of the crustaceans. Calman (1919) just mentions the possibilities of a homology between the exopodite gills of trilobites, the book-gills of *Limulus* and the comb of scorpions, homologies pointed out by the present author (Størmer 1933). Many authors like Versluys and Demoll (1920) consider the trilobites as true crustaceans or possibly more or less ancestors of both crustaceans and arachnids (Handlirsch 1926—1927). Storch (1925, 1926) even thought that the trilobites were phyllopods since the setæ of the "exopodites" resemble the catching apparatus found in the phyllopod limb. His results which among others are based on the erroneous assumption that the branch, generally understood as an exopodite, really represented the endopodite and vice versa, were strongly criticized by Richter (1926) and neither adopted by Thiele (1926—27). Eriksson (1934) gives an interesting interpretation of the trilobite limb as a catching apparatus.

Borradaile (1917) and Snodgrass (1935) regard the gill-branch in the trilobite leg as an epipodite since it apparently was attached to the coxopodite and not to the basipodite as the typical crustacean exopodite.

Several zoologists have, however, objected to the presumed crustacean nature of the trilobite. Thus Holmgren (1916) points out from his extensive studies of the arthropod brain, that the xiphosurans (*Limulus*) possess antenna-glomeruli indicating that this group of the Chelicerata may have been derived from antenna-bearing forms such as the trilobites. Distinct antenna-glomeruli were not found by Hanström (1926 b, p. 8 and 68), but later Johannsen (1932) has confirmed Holmgren's investigations and the reduction of a pair of antennæ in the Xiphosura seems at least to be generally assumed (Hanström 1926 b, Gottlieb 1926, Fedotov 1924).

An interesting critical review on the relations between the Crustacea, Trilobita, Merostomata and Arachnida was published by Fedotov (1924). "When I began my paper" — the author states, (p. 383) — "I shared the opinion of the majority of authors that the trilobites belong to the class of *Crustacea*. After the study of the most important literature I came to another view of the grouping of the classes of Arthropoda, approaching the opinion of RAY LANKASTER." Fedotov concludes that the trilobites form a separate class just as the arachnids and crustaceans, although the trilobite limbs in his opinion are very similar to the crustacean legs. Like the later authors Ivanov and Schulze, Fedotov lays special stress on the predominant correspondence in the general plan of construction of the Trilobita and Chelicerata and is inclined to assume a polyphyletic origin of the Arthropoda. The Class Trilobita is regarded as "a separate stem of the ancient marine *Arthropoda* showing common morphological tendencies with the *Merostomata* and *Arachnida*" and being the "ancestral group of the latter".

Hanström (1926 a, 1926 b) approaches the problem from studies on the nervous system and visual organs of the arthropods. He also, points out the many common morphological characters in trilobites and merostomes and concludes that: "Die beinahe einzige Verschiedenheit von Bedeutung, welche bei den genannten Gruppen [Trilobiten und Xiphosuren] vorhanden ist, ist der ganz verschiedenartigen Bau der Extremiteten." Basing his conclusion chiefly on Storch's (1925) assumption of phyllopod limbs in trilobites, he is inclined to place the trilobites near the crustaceans in spite of the many merostome characteristics.

Through a detailed study of the embryology of *Limulus molluccanus* (= *Tachypleus gigas*), Ivanov (1933) arrives at very interesting results concerning the relationship between trilobites and xiphosurans. The embryology shows that the recent Xiphosura are derived from multi-segmented forms and the telson, so typical of the merostomes, is formed only by the tergal portion of the posterior segments, and therefore may be compared with the posterior tergal spines of the early mesonacids. Ivanov (l. c. p. 319) finds the "crustacean" limb of the trilobite of minor importance, doubting even the homology of the biramous limbs, and suggests, like Størmer (1933), that the fringes of the trilobite exopodites may correspond to the book-gills of *Limulus*.

Considerable interest deserves the demonstration of four larval segments in *Limulus*. Bearing in mind the probable reduction of one pair of antennae in this form, the five primary segments would correspond to the five limb-bearing segments in the head of trilobites. (A reduction of a second pair of antennae in the trilobites is presumed by the majority of palaeontologists working with this group.) The crustaceans have but three larval limb-bearing segments. Among the annelid worms, the number of larval segments varies, but is constant within one family and consequently Ivanov assumes, as indicated by Fedotov, a polyphyletic origin of the Arthropoda from different annelid groups.

Recently Schulze (1936) presents new supports to the conception on affinities between Trilobita and Chelicerata. A study of the Acari (ticks and mites) show them to be members of a primitive arachnid group evidently derived from the Devonian-Carboniferous Anthracomarti. Schulze demonstrates that the modern Ixodidae show many characteristics significant of the trilobite morphology. A common plan of construction confirms the view of a trilobite-chelicerate stock developing independently from the annelids just as the crustacean stem.

In a recent paper on the evolution of the Annelida, Onychophora and Arthropoda, Snodgrass (1938) advocates a monophyletic origin of the arthropods, but the Trilobita and Chelicerata form a separate stem branching off very early from the main arthropod stock.

It appears from this brief historical review that the morphology of trilobites has been subject to frequent studies and has created considerable discussion. The opinion on the zoological position of the trilobites has changed from time to time and we have seen that, after the trilobite appendages became better known, practically all palaeontologists and zoologists studying or discussing the trilobites, regarded them as primitive arthropods related to the living crustaceans. We have also learned that a smaller group of authors has recently objected to this view and presented considerable evidence for a conception of affinities between the Trilobita and Chelicerata.

Systematic Description of Trilobite Appendages.

Introductory Remarks on Species Known and Terminology Applied.

In his monograph on the trilobite appendages, Raymond (1920) gives a review and description of the known limb-bearing species. The following list, chiefly based on Raymond's account, records the species described and presents references to the more important, or latest, publications as well as indicating the morphological value of the respective finds.

Lower Cambrian.

1.	*Olenellus getzi* Dunbar (1925)	Antennæ.

Middle Cambrian.

2.	*Neolenus serratus* (Rominger). Walcott (1918, 1921) Raymond (1920)	All appendages.
3.	*Kootenia dawsoni* Wallcott (1918)	Limbs.
4.	*Ptychoparia cordilleræ* (Rominger) Walcott 1918	Fragm. limbs.
5.	*Ptychoparia permulta* Walcott (1918)	Antennæ.
6.	— *striata* (Emmrich) Jaekel (1901) Raymond (1920)	Ventr. membrane?
7.	*Nathorstia transitans* Walcott (1912)	Fragm. appendages.

Upper Cambrian.

8.	*Boeckia (?) illænopsis* Westergård (1909)	Antennæ?

Lower Ordovician.

9.	Sp. indet. Clarke (1922)	Limb (?)
10.	*Isotelus arenicola* Raymond (1910, 1920)	Fragm. limbs.

Middle Ordovician.

11.	*Isotelus gigas* Dekay. Raymond (1920)	Fragm. limbs.
12.	— *latus* Raymond (1920)	Fragm. limbs.
13.	— *maximus* Locke. Walcott (1917) Raymond (1920)	Fragm. limbs.
14.	*Calymene senaria* Conrad. Walcott (1918, 1921) Raymond (1920)	Limbs.
15.	*Ceraurus pleurexanthemus* Green. Walcott (1918, 1921) Raymond (1920)	Limbs.
16.	*Acidaspis trentonensis* Walcott (1918)	Fragm. limbs.
17.	*Cryptolithus tessellatus* Green (= *Trinucleus concentricus* Eaton). Walcott 1921	Fragm. limbs.

Upper Ordovician.

(16).	*Acidaspis trentonensis* Walcott. Raymond (1920)	Fragm. limbs.
(17).	*Cryptolithus tessellatus* Green. Raymond (1920)	All appendages.
18.	*Triarthrus eatoni* (Hall) (= *T. becki* Green). Beecher (1895 a) Walcott (1918, 1921) Raymond (1920)	All appendages.

Lower Devonian.

19.	*Phacops* sp. Broili (1929, 1930)	All appendages.
20.	*Asteropyge* sp. Broili (1930)	All appendages.

Several of the listed species give but little information of the morphology of the appendages. In the following chapters only the better known forms are described and discussed in greater detail. Additional knowledge is presented for certain species of which I have had the opportunity of examining the original specimens. More extensive studies have been attributed to the genus *Ceraurus* by means of grinding series of several specimens.

Terminology. The morphological terms applied in the following descriptions and discussions deviate from the usual ones employed in the majority of earlier works on trilobite appendages and it is therefore necessary to explain the different designations. The brief account given below is chiefly based on a presentation given by Snodgrass (1935), but other conceptions concerning the terminology are also considered.

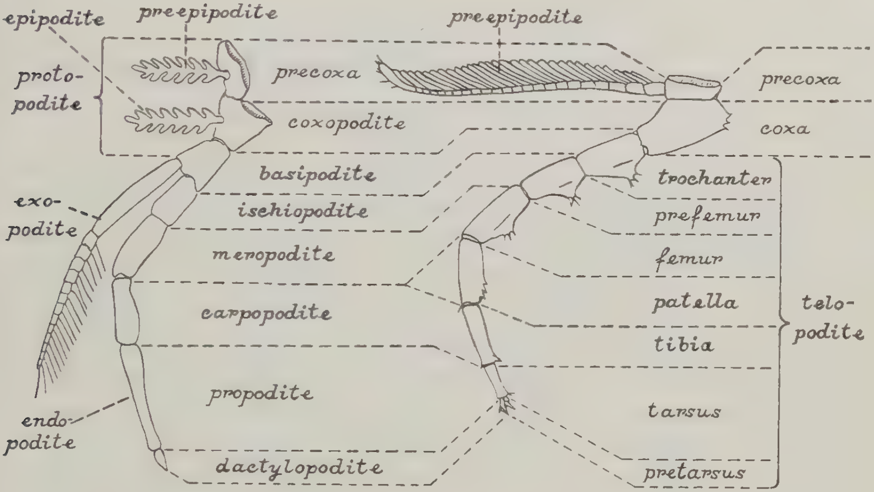


Fig. 1. Terminology of the arthropod limb. Crustacea (left) and Trilobita (right).

The arthropod limb which is attached by a joint either to the tergum (divided into tergites), or to the sternum, or to both, consists of a number of segments separated by movable joints (text-fig. 1). Each segment or podite has its individual muscles and thus differs from the sub-segments which only comprise secondary divisions of one segment (e. g. the multi-jointed pretarsus of many terrestric arthropods).

In general, the proximal segment of the arthropod appendage forms a more prominent podite which is called the coxopodite or coxa. In many forms, however, an extra basal segment, a subcoxa or precoxa,[1] is inserted between the coxa and the body wall. The precoxa is regarded by certain authors as formed by a secondary division of the coxa, but the presence of this basal segment in many primitive groups rather suggests the precoxa to be a primary segment as pointed out by Hansen (1925, 1930).

The free post-coxal portion of the appendage is called the telopodite or telopod. The crustacean telopodite has ordinarily six segments: the basipodite, ischiopodite, meropodite, carpopodite, propodite and dactylopodite. Among the Chelicerata

---

[1] Dr. W. T. Calman kindly advised me to use the term precoxa (not præcoxa).

and Insecta the corresponding (?) segments are generally called: the first trochanter, second trochanter or prefemur, femur, tibia, tarsus and pretarsus (or transtarsus), but in these groups an extra seventh telopodite segment, the patella, may be inserted between the femur and tibia.

The segments of the arthropod appendage may have outgrowth which often develops into movable lobes commonly provided with special muscles and separate segments or sub-segments. The lateral or outer lobes are called exites and the median or inner lobes endites. Certain specially developed endites and exites have attained particular names. The exite of the precoxa is termed preepipodite. The endite of the coxa is called the basendite or endobase (gnathobase signifies a gnathal function). The coxa or coxopodite has often a well developed exite which is known as the epipodite. The next segment, the basipodite of the Crustacea, may have a conspicuous exite called the exopodite. When a pronounced exopodite is present, the corresponding median branch, the portion of the telopodite distal to the basipodite, is called the endopodite and the basal uniramous portion of the appendage the sympod. The basal segments may be fused into one segment which is then termed the protopodite.

The trilobite appendage has generally been homologized with the biramous appendage of the crustaceans and consequently the jointed exite was interpreted as an exopodite and the median branch as an endopodite. Since it appeared that the lateral branch was attached to the coxopodite or coxa, certain zoologists (Borradaille 1917 and Snodgrass 1935) pointed out that the exite was hardly homologous with the crustacean exopodite, but rather represented an epipodite. The median branch consequently had to be termed telopodite. The present studies on *Ceraurus*, however, have demonstrated that the lateral branch in the trilobite appendage was attached neither to a basipodite, nor to a coxopodite, but to a precoxa and hence represents a preepipodite.

Section Series of *Ceraurus.*

Previous research.

The peculiar limb-structures previously described in *Ceraurus pleurexanthemus* Green and *Calymene senaria* Conrad have made it difficult to arrive at a definite conception on the general structure of the trilobite limb. Already in 1875, Walcott mentions his discovery of appendages-bearing trilobites in the Trenton limestone of Trenton Falls, New York State. In the plastically preserved specimens, the body cavity and appendages were replaced by calcite and the structures could only be studied in thin sections. In the course of seven years Walcott made more than 2000 slides of which about 250 (mostly *Ceraurus*) showed remains of the ventral structures. The results from the important studies of the sections were published in several smaller notes, but were collected in his paper of 1881. Walcott published his paper at time when nothing was known of trilobite appendages, but yet he was able to explain very skilfully many of the difficult slides and to obtain a certain amount of information on the structures of the appendages. Walcott (1881) points out the presence of axial processes in the dorsal test and the ventral integument was found to be strengthened by flat transverse bands, to which the limbs were attached. The slides indicated several types of branchial lobes chiefly attached to the basal segment of the limb. The branchial appendages were very difficult to interpret. One type was first regarded as tubes arranged like the teeth in a rake, but afterwards as elongate ribbon-like spirals attached to the sides of the thoracic cavity.

Forty years later, Walcott (1918) gives new illustrations of several slides of *Calymene* and *Ceraurus* and his new restorations (text-fig. 2 a) are brought in accordance with the typical trilobite limbs so well demonstrated in *Triarthrus* and *Neolenus.* Walcott shows in addition to his previous research the possible presence of antennæ, and elongate coxopodites (called protopodites) to which an "epipodite" and an "exopodite" were attached. The assumption of the spiral structures of the "exopodites" is maintained although he tried in vain to find similar sections through the fringes of the corresponding appendages in *Triarthrus.* Walcott made sections of closely coiled spirals of wire set in plaster and obtained sections similar to those of the spirals in the "exopodites" of the studied specimens. The studies gave the results that the three genera *Calymene*, *Ceraurus* and *Acidaspis*, preserved in calcite and studied through slides, possessed these peculiar spiral appendages which have not at all been traced in the well-exposed cleaned specimens of *Triarthrus* or *Neolenus.*

Raymond (1920) after studying the slides, challenged the assumption of spiral appendages. He presents a number of strong arguments against their presence, his logical objections being: 1. It is not very probable that the three sectioned genera should be fundamentally different from other trilobites known through cleaned specimens. 2. Sections of many turns in one slender spiral would be very rare, not at all so common as the observed structures and the maximum length of the turns should not be so great as shown in some specimens. 3. The "spirals" were found in vertical sections only, while the "epipodites", showing a normal shaft with "setæ", were exposed in horizontal sections, and thus seem to be identical structures. 4. The actual zigzag effect is explained as due to a section along the border of the shaft. Raymond points out very strongly how difficult it is to explain the structures seen in the translucent slides. Although the forms evidently possessed antennæ he does not find definite traces of them as argued by Walcott. Raymond brings out many important observations on the morphology of the appendages and his results are combined in successful restorations (1920 pl. 11), (text-fig. 2 b). Raymond presumed to find, however, that the appendages were articulated to the axial processes (appendifers), an assumption which is hardly possible from an anatomical point of view. The articulation would not permit the muscles to pass from the body cavity to the appendage and corresponding structures are completely unknown among the arthropods. Raymond also describes an alimentary canal in several slides and assumed to find an internal chitionus sheet (l. c. p. 79) which was expected to protect the soft ventral organs from the strain of the dorsal muscles.

The next year Walcott (1921) replied to Raymond's critisism and presented a large number of new illustrations and descriptions of slides of *Calymene* and *Ceraurus*. Concerning the problem of spiral branchiæ, Walcott (l. c. p. 407) maintained his earlier opinion in spite of the criticism and states that during the cutting of the slides he

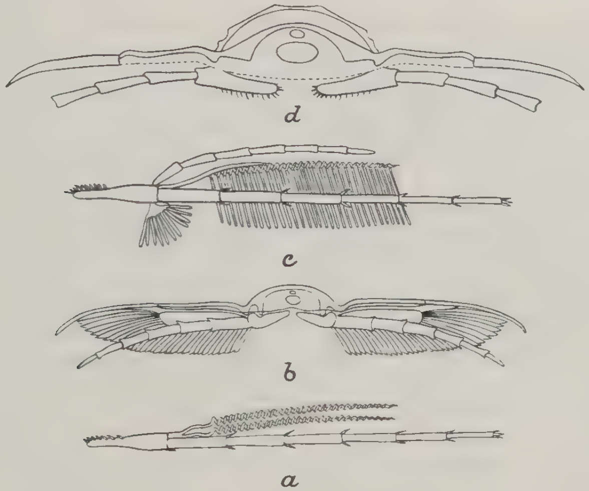


Fig. 2. Earlier reconstructions of the thoracic appendages in *Ceraurus pleurexanthemus* Green, Middle Ordovician. *a* = Walcott 1918, *b* = Raymond 1920, *c*, *d* = Walcott 1921.

repeatedly had noticed the coming and disappearance of spiral structures. He modifies, however, his earlier restorations of the spiral branchiæ so the spirals form the shaft to which tubiform setæ were attached (text-fig. 2 c). In order to settle the problem, Walcott ground some new specimens from his original material and prepared new slides. He succeeded in obtaining one beautiful section of *Calymene* (l. c. pl. 96 fig. 1, 2) which gave him the evidence he had "searched for from 1873 to 1879 and at intervals since". The section demonstrated "clearly and unmistakably a spiral-like structure with a filament attached to the side of several segments of the spiral". Walcott explains the "larger spirals" as coils which were loosened during sedimentation and the fact that the attachment of the filament to the spiral is shown in one specimen only while the spirals are fairly common, is interpreted as due to the attachment of the filaments being delicate so that the spirals and filaments often were displaced by movements in the soft sediment. Besides the telopodite and the mentioned "exopodite", the coxopodite of *Ceraurus* (and *Calymene*) in Walcott's latest restoration (text-fig. 2 c), is presumed to have both a short fimbriate and a slender segmented epipodite. Walcott gives a valuable description of numerous sections and abolishes the appendifers (articulations) argued by Raymond. The "abdominal sheet" described by Raymond is explained as portions of the ordinary dorsal tergites. Walcott also discusses the presence of the alimentary canal and muscles in the body-cavity below the axis. Like Raymond, he explains the large mud-filled cavity below the axis as an alimentary canal.

It becomes apparent that the morphological structures of the limbs and body cavity of *Ceraurus* and *Calymene* have not been sufficiently cleared up. The opposing conceptions of the difficult sections give no bases for correct restorations. Hoping to arrive at a more definite opinion, I studied, with the kind permission of Prof. Raymond, Walcott's original collection of slides preserved at Harvard University. The high quality of the slides is shown by the numerous illustrations (Walcott 1921), but a closer study of them soon reveals the difficulty in obtaining right information of the morphological structures. It is obvious that it is exceedingly difficult to interpret casual sections of enrolled trilobites with the appendages partly distorted and generally entangled into each other. In addition, the preservation may be less satisfactory, the delicate appendages being more or less dissolved appearing as "clouds" or "threads" with indistinct outlines. My detailed study of the sections gave me the general impression that Raymond was right in his abolition of Walcott's spiral structures, but it also became apparent that satisfactory results could not be obtained by the studies of the sections only.

The chief problems unsolved were: 1. the true nature of the "spiral structures", 2. the general construction of the appendage particularly the proximal portion, 3. the true nature of the structures referred to the alimentary canal, muscles and eggs, 4. the ventral structures of the cephalic region.

It occurred to me that the only way of settling these questions would be to make serial grindings of limb-bearing specimens from Walcott's original collection. Professor Raymond kindly placed at my disposal a number of partly ground rock-pieces containing *Ceraurus*, and section series of six pecimens were made.

Methods applied.

The grinding of the specimens was done at Harvard University, Cambridge, Mass. U. S. A., while the different models were prepared in the University Palaeontological Museum in Oslo and, on one occasion, at Naturhistoriska Riksmuseet in Stockholm. The limited time and the lack of special equipment for the making of grinding series, did not permit a quite satisfactory treatment of the minute material, but the later elaboration of the series has shown that errors to a large extent may be corrected so that the method, in its main features, is quite reliable.

The limestone pieces secured for grinding were generally cut into prisms with the sides forming right angles to the grinded surface. A narrow prismatic shape is, however, liable to give less parallel sections by common hand-grinding. For this reason only one or two sides were cut as base-lines. In general, the known thicker dorsal test serves very good as "base-lines" when the succeeding sections are combined. The grinding was done by hand on a steel plate with carborundum.

The measurements of the parts ground off between each photographed surface, was made by a more simple method which was first applied by Dr. A. Heintz (Ostracoderms) and later by myself (Trinucleids) at the Paleontological Museum, a method which has proved useful for the sectioning of small objects. As measure was used a common micrometric screw (scale down to 1 : 10 000 inch). The screw, with the object in measuring position, was partly embedded in plaster. Afterwards the stone was removed leaving a solid bed into which the stone could be placed at every new measurement. By this method only the central part of the object is measured and therefore an oblique grinding is more difficult to trace, but in the main features the method proved useful as shown in the elaboration of the models. The average thickness of the portions ground off amounted to about $^1/_{20}$ mm.

The ground surfaces were photographed covered with Canada Balsam and a magnification of 5—7 times, mostly 6 times, was used in photographing. When combining the photographed sections in models it is very important that the magnification is exactly the same in all the photographs. With the incomplete equipment at hand, this requirement was not always fulfilled. At first I thought it impossible, for this reason, to make adequate models, but later it became possible to eliminate this source of error. By watching in transmitted light the magnified drawings of several succeeding sections, it is possible, when we know the shape of the dorsal test, to correct the magnification so that the succeding drawings conicide.

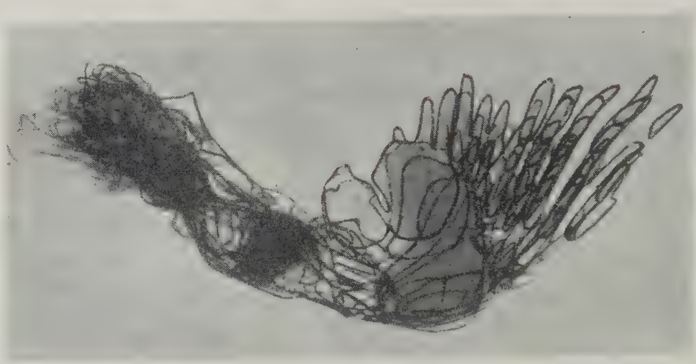


Fig. 3. Glass model of one gill-appendage in *Ceraurus pleurexanthemus* Green, Middle Ordovician. No. III of Ser. C. The different segments have been painted with different colours of varnish.

By means of a camera lucida (a special vertical magnification apparatus has been very useful) the mentioned outline drawings were made from the serial photographs. The photographs were generally magnified about 6 times corresponding to an actual magnification of 35—40 times. The drawings often attained considerable size (80 cm), but only a minor part was used in making the models. The magnification of the drawings was adjusted in accordance with the average distance between each section. When the average thickness was $^1/_{20}$ mm a magnification of 40 times will give a distance of 2 mm which is the common thickness of the glass-plates suitable for the making of models.

Glass models (text-figs. 3, 6, pl. 10 fig. 4) were used to a considerable extent to elucidate the structures. The drawings with the established base-lines were transferred in chinese ink to clean glass-plates with thicknesses of 2 and 3 mm. Intermediate values were referred to the nearest corresponding thickness or obtained by a combination of more plates. The glass-plates were placed in special wooden frame-boxes (text-fig. 4) permitting a study of the slides in transmitted light. It is important to choose as base-lines one of the lower corners of the square plates so that they always retain the right mutual position when placed in the frames. By this method it is not necessary to paste the glass plates together. One can always pick out certain plates or start the series at any number in the series. It is possible without major difficulties to look through and study 30 plates at the same time. The best results are

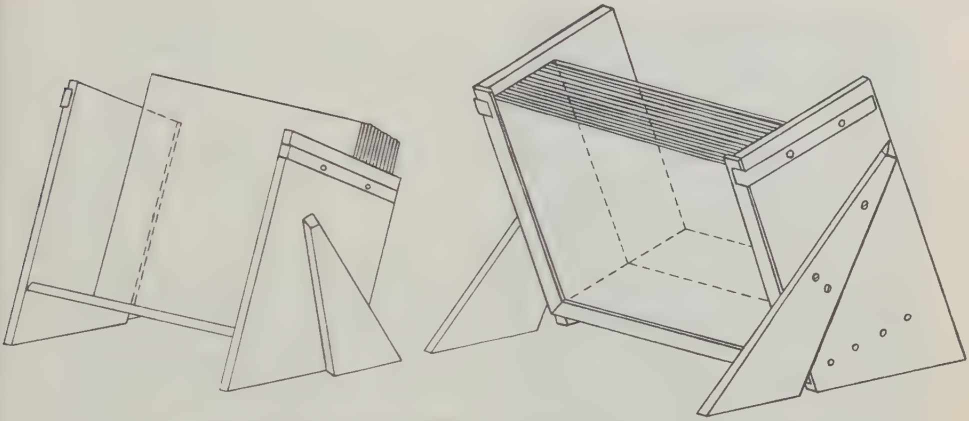


Fig. 4. Wooden frames for the glass plates illustrating the section-series.

obtained by watching the plates under an oblique angle so that the reflection is avoided. I have used a nicoll prism to eliminate the reflection, but with minor results.

Ordinarily the glass models of the section series present a very complicated picture (Pl. 10, fig. 4). It seems at first sight impossible to separate the numerous fragments entangled in each other. The difficulties are due to different reasons:

1. Not all the thin-shelled parts are preserved (the "softer" structures seem not at all to have been preserved). It is apparent that some portions, or rather their calcareous fillings, are partly dissolved (text-fig. 5 *d*) remaining only as irregular bodies "threads" or "clouds". Calcareous foreign bodies (text-fig. 5 *fb*) seem also in certain cases to come into existence without corresponding (preceeding) fragments.

2. The determination of the outlines of the fragments is often very difficult to distinguish in sections of surfaces forming a small angle to the section-plane.

3. The position of the appendages is often difficult to make out in the enrolled specimens where the limbs are more closely packed and often entangled in each other.

After outline-drawings were transferred to the glass plates mounted in the frames, the task was to separate the many different structures exposed in the one series. In certain series such as C (pl. 10, fig. 4) the different appendages cover each other so closely that it is

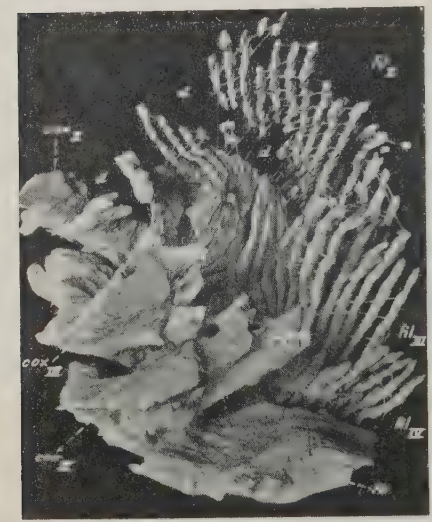


Fig. 5. Combined wax models of three succeeding thoracic appendages of *Ceraurus pleurexanthemus* Green, Middle Ordovician. The model illustrates the dissolved parts *d* and the presence of "foreign bodies" *fb*. *cox* = coxa, *fil* = filaments or gill-blades, *tlpd* = telopodite.

impossible to see a major part of one limb at the same time and it is difficult to know which parts belong to each other. Here the fact that the plates were loose in the frame proved very useful. It was possible to follow, backwards and forwards through the series continuous structures which were then marked with special colours (special colour-pencils to be used for drawing on glass) so that they could be distinguished.

To elucidate the structures of one separate appendage, several new glass models were prepared in which only one appendage was transferred (with the same base-lines maintained) from the complete series into its own set of plates (text-fig. 3). These "cultivated" models proved very useful, also for the making of wax models.

The next step was to try to distinguish the different jointlines in the shaft of the appendages. Comparing the drawings with the original photographs (for this purpose photographs have considerable advantages over drawings of each ground surface) most of the lines could be established. On the glass plates, the separate segments were painted with different colours in metal varnish. When the shaft is not too thick the transparent colours show well the structures of the limb.

Before glass models were used, celluloid plates were attempted, but proved less useful since they do not retain a plane surface and require too small magnification.

Wax models were prepared of three separate appendages in the C-Series, (text-fig. 5, pl. 5—8). Wax plates of 2—3 mm were applied and the outlines transmitted from the glass plates. It appeared to be rather difficult to present wax models of the delicate filaments which were often partly dissolved (text-fig. 5 *d*) and appeared as a number of separate pieces in the cut plates. To a great extent, the models had to be supported by iron wire which was melted into the plates and retained after the cutting of the supporting "bridges" of wax.

A plaster model was made by using a "negative" wax model as a mould. The wax model was cut so that the solid parts of the appendage were left out and the surroundings maintained. Iron strings were put into the hollow parts to support the plaster which was poured into the mould. In a thermostat, the wax was melted away, leaving a plaster model of the section series. This method is only applicable when the hollow part allows the plaster to pass through. In narrow passages and in canals ending blindly, air-bubbles are apt to disturb the model.

Structure of Thoracic Tergites.

Some of the grinding series cut through the dorsal skeleton and thus give more detailed knowledge of the somewhat complicated structures of the tergites. The series explain the articulation between succeeding segments and illustrate the ventral processes or apodems which served as attachments of muscles.

In his earlier paper Walcott (1881 pl. 4 fig. 5) gives a restoration of the ventral surface of the dorsal skeleton in *Ceraurus*. As shown in text-fig. 2, further restorations (transverse section) have been given in later papers by Walcott and Raymond and in a recent Paper Öpik (1937 pl. 18 and fig. 41) describes and illustrates in excellent photographs the tergites of *Ceraurus aculeatus* Eichwald. In the following description and in the preparation of the reconstruction (pl. 11) some of Walcott's figured sections and Öpik's figures have been helpful.

Mesotergite. Cross-sections of the mesotergite figured by Walcott (1921 pl. 96, fig. 3, 4) show that the posterior border of the axial ring continues forward as a doublure beneath the ring. The same structure is indicated in Öpik's figures especially in the occipital segment. Walcott demostrates (l. c. p. 426) how a transverse section across the axial ring may cut through the axial ring, the doublure and the articulating lobe of the following segment at the same time. He points out that the "abdominal sheet" described by Raymond (1920) is therefore nothing but the doublure which may appear as an intermediate sheet. The described type of doublure is found practically in all arthropods and evidently an intersegmental membrane was attached to the anterior border of the doublure and at the same time to the anterior border of the articulating lobe of the following segment. (Pl. 11, fig. c, d; *isgm*).

The articulating furrow (=primary intersegmental fold) is well defined, being transverse medially and slightly curved near the axial furrows. In dorsal view the articulating furrow has two distinct pits (*app*) at a distance from the axial furrows like $^1/_4$ the breadth of the axis. The pits lead down into deep hollow processes very distinct in ventral view. The finger-shaped distal portion of the processes is always broken off in prepared specimens, but may be studied in detail in the section-series. On pl. 2 Ser. C 25—31 and 35—36 the processes are exposed at full length and Ser. I (text-fig. 6) demonstrates their structure in ventral view in several succeeding segments. The median border of the process is nearly vertical while the lateral border is more oblique giving a larger dorsal aperture opening in dorso-lateral direction. The process has a blunt ventral termination which is not perforated. Sections show that the process forms an invagination (apodeme) of the dorsal skeleton and that the test of the apodeme is very thin especially in the distal portion.

The described ventral process is demonstrated in Walcott's drawing from 1881, but the process appear as median outgrowth from the axial furrows. For this reason he suggested the term axial process for the structure. In a later paper, however, (Walcott 1921 p. 384 text-fig. 16) he points out that there were two different processes, a smaller axial process, and a more prominent mesotergite process which corresponds to the above described structure. Meanwhile Raymond (1920) suggested the term appendifer for the prominent apodemes below the mesotergites and to avoid confusion it seems therefore appropriate to maintain the term appendifer instead of mesotergite process, but it is to be understood as a process for attachment of muscles, not as a condylus to which an appendage was articulated. As pointed out by several authors, the appendifers are typical of many trilobites and occur in a large number of genera. The processes are found in the Cambrian *Paradoxides* (Westergård

1936) and in a number other genera (not Asaphidae, Lichidae etc.) (Öpik 1937). The appendifers are strongly developed in the Trinucleidae (Størmer 1930).

The appendifers of trilobites are very similar to the tergal apodemes in the abdomen of *Limulus* (Størmer 1933 p. 153). The apodemes appear as deep pits (pl. 10, fig. 6 *app*) in the axis of the abdomen just in the same place as in the trilobites. The apodemes serve to a great extent as attachments of muscles to the ventral appendages. Among other arthropods, I have not found structures so similar and the appendifers of trilobites and the apodemes of xiphosurans are evidently homologous.

The articulating half ring (*arhr*) is well shown in some of Walcott's figures (1921 pl. 96, fig. 4, pl. 102, fig. 4) and in Öpik's photographs. The prominent lobe has a median length ³/₄ the length of the axial ring. In dorsal view, the half ring is convex with a tapering anterior portion ("Extensior Insertion" of Öpik). The lobe occupies the space below the concave posterior doublure of the axial ring of the segment in front, (Pl. 11, fig c) to which it was attached by an intersegmental membrane (*isgm*).

The dorsal furrows are not very deep and there is no welldefined axial process. The posterior portion lies slightly deeper than the anterior and has to be identified as an axial process (*axp*); it is more typical in other genera such as in *Pliomera* (Öpik 1938 pl. 25, fig. 5) and *Asaphus* (Brøgger 1886 pl. 3, fig. 50, 51).

The section-series (text-fig. 6, pl. 1—4) have shown that the vertical border at the posterior end of the dorsal furrows, of each segment, has a distinct pit (x) forming a socket. At the anterior border of each segment a corresponding process (x_1) forms a condylus which fits into the mentioned socket. The joint prevents a ventral displacement of the tergite in relation to the one in front of it. A dorsal and lateral displacement is prevented by the axial lobe and the medial portions of the axial processes which abut on to the lateral portion of the articulating half ring. A somewhat similar articulation is described by Kiær (1916) in the Lower Cambrian genera *Holmia* and *Kjerulfia*.

The pleurotergite consists of a rectangular median portion and a triangular, slightly curved spine. The pleural spine has a solid doublure covering the ventral surface, and as shown by Öpik, a zigmoid portion at the base of the spine. Only the rectangular portion,

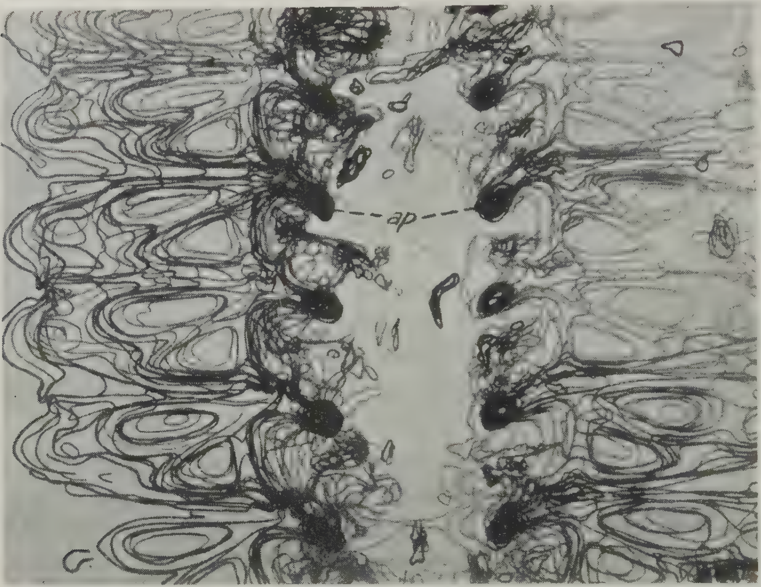


Fig. 6. Glass model of Ser. I showing in ventral view, the structures of the tergites in *Ceraurus pleurexanthemus* Green Middle Ordovician. The powerful appendifers (*ap*) and the distal articulation of the pleuræ are demonstrated.

the pleura, was covered by thin integument on the ventral surface. Besides the distinct lobes on either side of the pleural furrow, the pleura has an elevated circular lobe at the base of the pleural spine. Two narrow, straight rims are found along the anterior and posterior borders.

A lateral articulation between two following segments is found at the distal points of the rims. The spine is constricted at its base and the posterior point (y_1) of the zigmoid doublure fits into the depression (y) of the anterior border of the following segment. An anterior process (z_1) articulates to the depression (z) medially to the doublure of the segment in front. The articulation is similar to that found in the axis. The following segment is intercalated in the one in front of it and the joint prevents a horizontal and dorsal displacement.

The described articulation between succeeding tergites facilitates movements along a transverse horizontal axis, i. e. the enrolling, and at the same time establishes a firm construction of the thorax.

The articulation is very similar to that between prosoma and abdomen in *Limulus*. Ivanov (1933) has demonstrated that the articulation does not follow the original segmentation, but cuts across different segments. It seems possible that the pleuræ of the thoracic segments do not represent original segments, but are secondary formations due to articulation along transverse lines. In this case the pleural furrows would indicate the primary segmental borders. Since this question may be solved from a study of the cephalic segments (intergenal spines etc.) it will be discussed more in detail in another paper.

Ventral Membrane and "Internal Organs".

Ventral integument. Sections of *Ceraurus* and *Calymene* show that the space below the dorsal skeleton in most cases is filled with calcite. This is a common feature in preserved trilobites and is often formed when certain portions are not filled by mud during the embedding of the remains. In the present case, however, the ventral extension of the calcite seems in several specimens to correspond to the ventral integument or membrane. The integument itself is not preserved and in many cases (e. g. Ser. C) even the border between the internal calcite and the thick calcified dorsal test is obliterated. Walcott (1921 pl. 100, 104) figures magnified sections showing the mode of preservation.

Several of Walcott's sections (e. g. pl. 101, fig. 1—4) indicate the outline of the ventral integument. In Ser. C (pl. 1—4) the ventral surface to a great extent is dissolved, but the surface is indicated below the mesotergite. As pointed out by Walcott, already in his early paper of 1881, the integument below the mesotergite forms segmental rings. The observed structures are indicated in text-fig. 8, 9. In the series, the membrane, or ventral surface of calcified portion, is evidently to a certain extent dissolved, but the transverse furrows between the segments are indicated. The rings are visible in several of Walcott's sections e. g. pl. 99, fig. 3. The membrane below the pleura is not preserved in the series and none of Walcott's section demonstrates it clearly, but evidently the membrane, which reached to the lateral doublure, was more or less flat, giving but a limited space between it and the dorsal skeleton above.

"Alimentary canal". Both Walcott and Raymond considered to find traces of an alimentary canal in *Ceraurus* and *Calymene*. My present studies give no evidence for such structures. The wide mud-filled cavities explained as "alimentary canal" are shown in several of Walcott's sections (e. g. 98, fig. 9, pl. 102, fig. 1—2) and in Ser. C (pl. 1—4), the cavities below the mesotergites are shown in Nos. 2—7 and 17—38. The cavities are, primarily, too wide to represent an alimentary canal and on the other hand the Ser. C has shown that the cavities do not continue from segment to segment and consequently cannot represent a canal. A survey of Walcott's slides has shown one longitudinal section (1921 pl. 102, fig. 4) which demonstrates several mud-filled cavities located in succeeding segments. The explanation of the structures referred to the alimentary canal seems to be: While the narrow space above the posterior doublure of the axial ring was rarely filled with mud, the more exposed frontal portion was more easily filled, especially in enrolled specimens where the intersegmental membrane was destroyed and penetrated by sediment. A transverse section across the anterior portion of the axial ring would give the described mud-filled cavities and if the section is taken near the posterior border one gets oblong narrow cavities with indications of circular lateral "canals" as seen in Nos. 10—15 of Ser. C.

"Heart". Walcott (1921 p. 427) presents the suggestion that in sections of *Calymene* "a dark, rather strong, arched line above the position of the alimentary canal" may represent the heart. The narrow mud-filled space below the mesotergite in No. 12 of Ser. C (pl. 1) may be the same structure and it can be explained as a section across the posterior portion of the axial ring. There seems to be no real evidence for traces of a dorsal blood-vessel.

"Muscles". Both Raymond (with doubt) and Walcott assumed to find fossil remains of the dorsal flexor muscles. Two lateral black spots below the mesotergite is explained as filled-in holes left by the decay of muscles. Also these structures may be interpreted in the same way as the "alimentary canal" and the "heart". Cross-sections at different vertical angles may give several different figures of the mud-filled portion. No. 15—20 of Ser. C show circular lateral extensions of the mud-filled central portion. These holes are evidently the same as the assumed "muscles". One of Walcott's sections (pl. 95, fig. 18) shows a further transition between the central portion and the lateral spots. More oblique sections such as Nos. 50—60 of Ser. C. give more complicated figures with several spots of which the ventral ones represent sections of the appendifers as pointed out also by Walcott.

In the reconstruction (pl. 11, fig. c, d) I have tried to demonstrate the position of the major muscles from a comparison with the general arthropod type and from the position of the apodemes of the exoskeleton in the trilobite. As shown below it seems possible, through a comparison with the structures demonstrated in "a generalized type of an arthropod" (text-fig. 7), to distinguish some of the major muscles in the trilobite.

Actual remains of the muscles in trilobites have not been found, but in several cases colour markings on the test have been described as signifying the areas of muscle attachment. Concerning the muscles of the thoracic region, Beecher (1902) assigned to the trilobites dorsal longitudinal extensor muscles and ventral longitudinal flexor muscles by which the trilobite was able to enroll itself. Beecher assumed that the main longitudinal bundles of muscles had lateral strands attached in each segment, in the case of the ventral muscles, the strands were supposed to be attached to the buttresses in the ventral integument which served as apodemes. A similar arrangement of the muscles is indicated in Raymond's restoration (1920 fig. 29). Öpik (1937 p. 79, 81) describes dark spots in the test of the tergites of *Ceraurus* and other genera. He refers the darker areas in the articulating furrow to the attachments of extensor muscles, but he finds the dark spots in the axial furrows less clear.

To distinguish the major muscles it has been useful to compare the trilobite structure with the features illustrated in a generalized arthropod abdomen as demonstrated by Snodgrass (1931 p. 31, 1935 p. 257). In text-fig. 7, his simplified nomenclature is applied also to the trilobite tergites.

The major abdominal muscles of an arthropod comprise the dorsal, ventral, lateral and transverse muscles and in the case of appendages, the muscles connected with those. The dorsal muscles may be divided into musculi dorsales interni and m. d. externi. The former, which are often divided into four separate bundles, are longitudinal reaching from segment to segment and being attached to the intersegmental folds=articulating furrow of trilobite tergite. The external bundles are short extending from the anterior margin=

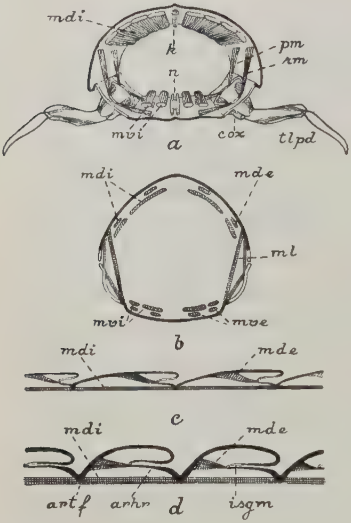


Fig. 7. Major muscles in the arthropod body (a—c) and between the tergites of a trilobite (hypothetical) (d). (a—c after Snodgrass). *arhr* = articulating half ring, *artf* = articulating furrow, *cox* = coxa, *isgm* = intersegmental membrane, *mde* = musculus dorsales externi, *mdi* = m. dorsales interni, *ml* = m. laterales, *mve* = m. ventrales externi, *mvi* = m. ventrales interni, *pm* and *rm* = promotor and remotor muscles of the leg, *tlpd* = telopodite.

articulating half ring, to the middle=axial ring, of the segment in front. The ventral muscles are also both external and internal and the latter ones are intersegmental attached to the intersegmental folds and serve as retractors of the ventral arcs. The lateral muscles are dorsoventral compressors of the abdomen. The limb-muscles (Snodgrass 1935 fig. 41) have two bundles attached to the tergite and two to the sternite. The limb moves on a transverse axis and the two frontal muscles (dorsal and ventral) serve as promotor muscles and the hind ones as remotor muscles.

In the thorax of trilobites the colour-markings, indicating attachment of muscles, are located to the following portions of the tergite: 1. the anterior portion of the articulating half ring, 2. the articulating furrow with the appendifers, 3. the portions of the axial ring above the appendifers, 4. the axial furrows. As shown in text-fig. 7 c the common arthropod tergite in longitudinal section is very similar to the tergite of the trilobite (7 d). The muscle-markings in the articulating furrow evidently belong to the musculi dorsales interni which form the major extensor muscles of the trilobite thorax. The markings on the anterior portion of the articulating half ring evidently belongs to the musculi dorsales externi. Since the axial ring has no markings posterior to the appendifers the muscles were probably attached at the frontal margin of the axial ring and thus also served as extensors of the body (retractors of the dorsum).

It is probable that the markings in the axial furrows chiefly belong to the dorso-ventral lateral muscles serving as compressors of the body. Other lateral muscles may have led to the pleural region.

The position of the transverse muscles cannot be decided with our present knowledge of the trilobite segments.

Of ventral muscles, the trilobites evidently possessed musculi ventrales interni attached to the intersegmental folds and serving as flexors of the trilobite body. By enrollment of the trilobite the thin-shelled ventral arcs were retracted as shown in several of Walcott's sections. Musculi ventrales externi may have been present and may have been oblique attached to the median buttresses (or rather folds in the sternites) as suggested by Beecher (1902).

In the recent Xiphosura (Gerhardt 1935 p. 63) the flexor muscles of the body are attached to the branchial cartilage forming continuations of the dorsal apodemes which evidently are identical with the appendifers of the trilobites. It is therefore possible that certain flexors of the trilobites were attached to the appendifers, but since the appendifers are lacking in trilobites capable of enrollment this may be only exceptions.

The muscles leading to the appendages may be understood by a comparison with the Xiphosura which, as mentioned, possess dorsal apodemes or appendifers. In *Limulus* the abdominal branchial appendages have strong muscles attached to the "appendifers". Bundles of protractors are attached to the inside of the appendifers and the retractors at the base of the same apodemes. Correspodingly it is natural to assume that the protractors and retractors of the trilobite appendages were attached to the appendifers of the same segment. The position of the appendifers indicate that the protractor muscles were attached to the frontal side of the appendifers and the retractors to the points of them as suggested in pl. 11, fig. d. Certain limb-muscles may also have led to the sternite as in the generalized arthropod (text-fig. 7 a), and it is also probable that certain limb-muscles lead to the axial furrows and were attached to the axial processes.

The present study shows that it seems possible to refer the known muscular markings in the thorax of trilobites to the major muscles in the primitive arthropod, and the muscles leading to the appendages resemble the structures in the abdomen of recent Xiphosura.

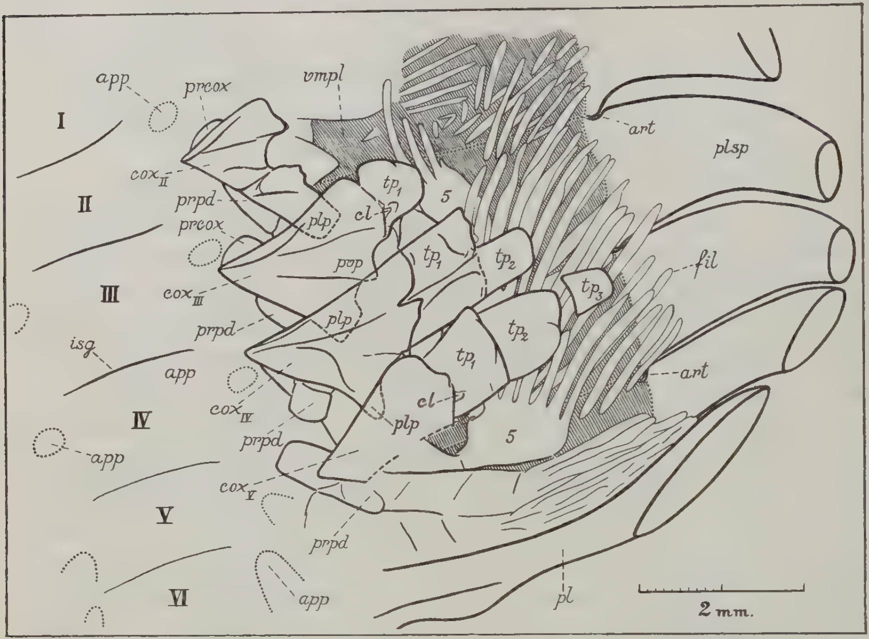


Fig. 8. Semidiagrammatic drawing of Ser. C. of *Ceraurus pleurexanthemus* Green, Middle Ordovician. 10,5 ×. Ventral view of the left side of the partly enrolled specimen. The prominent coxæ and basal portions of the walking legs almost cover the gill-branches with the gill-blades or filaments visible against the hatched pleural area. Explanation of letters also of text-fig. 9: I—VI = thoracic segments, 1—5 = segments of gill-branch or preepipodite, *app* = appendifer, *art* = articulation of pleuræ, *cl* = condylus, *cox* = coxa, *fil* = filaments or gill-blades, *isg* = intersegmental furrows, *pl* = pleura, *plp* = postlateral process of coxa, *plps* = pleural spine, *prcox* = precoxa, *prpd* = preepipodite, *pvp* = postventral process of coxa, *tp* = telopodite segments, *vmpl* = ventral membrane of pleura.

Thoracic Appendages.

The following description of the appendages is based chiefly on the section-series C, A and D. The biramous limbs are well preserved in Ser. C. Both the basal portions and the preepipodites are demonstrated in detail, while the distal portions of the walking legs are not cut by the sections. Series A and D give valuable information on the preservation and construction of the filaments and explain the peculiar spiral structures described by Walcott.

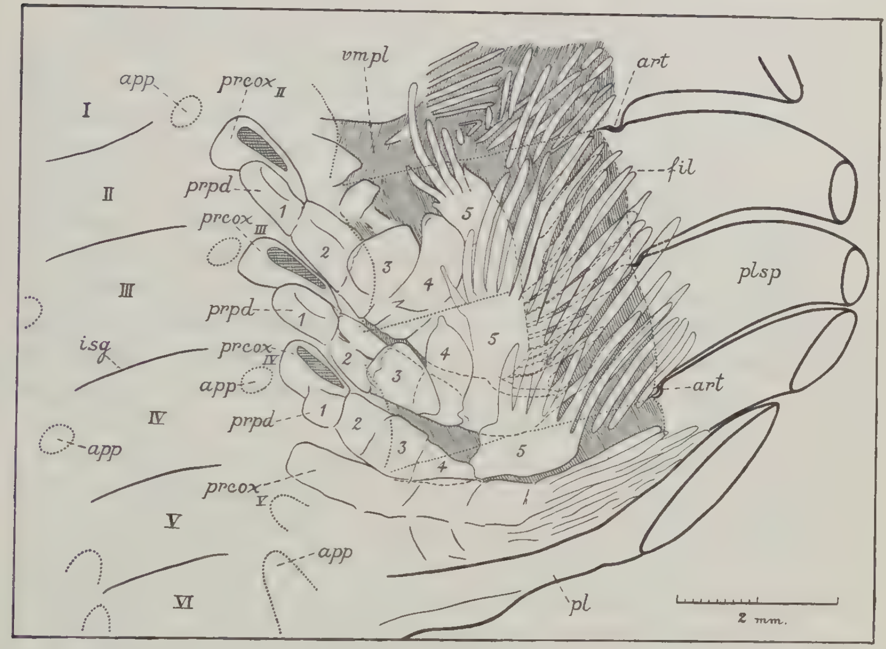


Fig. 9. The same as text-fig. 8, but with the coxæ and telopodites removed. The precoxæ and preepipodites (or gill-branches) of segments II—V are demonstrated. The distal portions of the preepipodites overlap each other forwards and the outlines of the covered parts are indicated by broken lines. The dotted lines show the outlines of the pleuræ. (The lettering is explained under text-fig. 8.)

Ser. C cuts through the thoracic region of a specimen measuring probably about 26 mm in median length of body. The sections run nearly parallel to the surface of the pleuræ, but the specimen is partly enrolled, especially the posterior portion of thorax, so that the posterior segments are exposed in more transverse sections. In the series, traces of nine segments are visible and since *Ceraurus* has eleven segments in the thorax the first preserved may be the first, second or third thoracic segment.

As shown in text-figs. 8, 9 six limb-bearing segments may be distinguished on the left side and, in the following description, they are numbered I—VI. The appendages of II—III are best exposed, particularly III which forms the basis of the reconstruction on pl. 11. 5 Text-figs. and pl. 5—8 illustrate the wax models prepared from the sections. During the study of the series it became apparent that the sections Nos. 18—20 had to be omitted since they showed no change in the outlines. Accordingly, I had previously made at note, during the grinding, that these sections became somewhat oblique and therefore may have remained untouched on the left side even when the measuring apparatus registered a certain grinding. The most difficult thing in the interpretation of the structures has been on one side to eliminate the calcified bodies (text-fig. 5 *fb*) which have nothing to do with the trilobite structures, and, on the other hand, to decide to which degree the preserved structures have been dissolved and hence obliterated. Although the wax models exhibit certain differences, they agree very well in the main features and the deviations are evidently due to the variable preservation.

The appendages, attached to the ventral membrane below the appendifers of the axis, are biramous with a median walking leg and a lateral gill-branch.

The basal segment — the precoxa or subcoxa. In the specimen (Ser. C) the ventral integument is not very well preserved, but, as mentioned above, the basal segment seems to be situated on a ventral node. This elevation may be artificial due to the integument being pulled downwards by the appendage, but its convex shape speaks in favour of an original structure. In II, the ventral integument seems to have been displaced in dorsal direction so that the basal segment of the appendages lies besides the distal portion of the corresponding appendifer. In III, the median border of the basal segment is situated just below the point of the appendifer and thus may give a superficial resemblance of an articulation such as in one of Walcott's sections desribed by Raymond (1920). The next basal segment (IV), however, is situated distinctly below the appendifer.

As shown in text-fig. 9 the basal segments of the appendages II—V have a somewhat lateral position in relation to the appendifers, the median borders of the segments lie below the respective appendages.

The actual joint-line between the precoxa and the ventral integument is not preserved, but the surface turns abruptly in vertical direction from the convex node, thus forming a distinct angle marking the course of the basal joint. In III, the joint-line may be followed all the way round, only in front it is less distinct. A plane drawn through the joint-line is not parallel to the pleura above, but tilts forward (dorsal view) so that the precoxa is directed backwards at a smaller angle.

The basal joint-line forms an elongate, right-angled triangle with the shortest side forming the median border. The same outline is found in II and IV. In the present specimen the longest axis of the precoxæ forms an angle of about 45° with the direction of the tergites. Probably the natural position was more transverse.

The basal joint permits movements of the precoxa round a transverse axis and since the ventral membrane was rather soft as in *Limulus*, smaller movements in other directions were also possible.

The precoxa is quite short with "parallel" sides. The median border is a little longer than the lateral showing that the segment has a somewhat lateral direction. The frontal side has a median depression in III and IV and the posterior side is slightly concave where the basal segment of the preepipodite is inserted.

Dimensions: Length along median margin=0,5 mm, greatest breadth=1,4 mm.

In his description of one of the thin sections of *Ceraurus*, Walcott (1921 p. 401) mentions the possible presence of a precoxa, but it is not indicated in the restoration or mentioned in the general description.

The second segment — the coxa or coxopodite. The second segment, which is more specialized than any of the others, is well demonstrated in III and IV and to some extent also in II and V. The coxa is more prominent than the other segments and its triangular section is often met with in the thin-sections of limb-bearing specimens.

The coxa articulates to the precoxa along a narrow elongate joint, more narrow than the basal joint. The elongate shape of the articulation-plane shows that the coxa was movable round as transverse axis just like the precoxa at the basal joint.

The coxa is shaped more or less as a tetrahedron or ploughshare. In the tetrahedron the basal joint is situated on a basal triangle with one corner pointing in median direction, the distal joint being situated in the distal corner of the lateral triangle. Compared with a ploughshare the anterior and posterior sides of the coxa form the sides, and the median process the point, of the ploughshare. As shown in text-fig. 10, the surface near the basal joint-line forms a flat rim which in direction deviates decidedly from the steep sides of the precoxa and thus marks the joint between the two basal segments. The division in two separate segments is also expressed in the different main directions of the two segments. Their longest axis form an angle of about 30° to each other.

The steep anterior side of coxa is slightly concave. In IV the side appears much shorter than in III, but this is due to the lateral portion being partly dissolved and separated from the rest of the coxa (pl. 8 fig. D). The posterior side which is well-preserved in III, has a concave basal portion and a post-ventral ridge forming, at the lateral margin, a post-ventral process (*pvp*) which is traced in III and IV (text-fig. 10). In III, the concave lateral side has an irregular furrow and certain sharp processes (pl. 7, fig. 1) which apparently is accidental. During the study of the glass and wax models I was at first inclined to regard these structures as insertions of an epipodite, but a more careful study and comparison of the different appendages makes it not probable.

The medio-ventral margin of the coxa forms a median process, a basendite (*bnd*), which, however, is much less conspicuous than the endite emphasized in the earlier reconstructions (text-fig. 2). In distal direction, the ventral ridge becomes more rounded and less distinct. The ridge has no indications of teeth or spines such as are shown in the reconstructions. The basal margins forms a distinct ante-lateral process (*alp*) and postlateral process (*plp*) which protect the basal portion of the appendages. The postlateral process is exposed also in II which has the coxa to a large extent dissolved in two separate portions (a third portion also indicated in the sections, but is not presented in the wax model).

The distal joints has, approximately, a circular outline. A closer study of the models has shown that in the ventral half of the joint parts of the articulation apparently are preserved. Both in III and IV and to some extend also in V, two elongate processes (*c*) occur along the distal margin on either side. The processes evidently represent the condyli of the joint and are quite similar to the type found in most arthropods e. g. at the distal joint of the coxa in *Limulus*. The condyli permit movements round a longitudinal axis.

Dimensions: length (transverse)=2 mm, depth (dorso-ventral) =1,8 mm, breadth (longitudinal)=1,5 mm.

The telopodite or walking leg. The structure of this median appendage is not well demonstrated in the section-series.

The first segment — first trochanter or basipodite. This segment is not well exposed in the Ser. C. In IV the segment

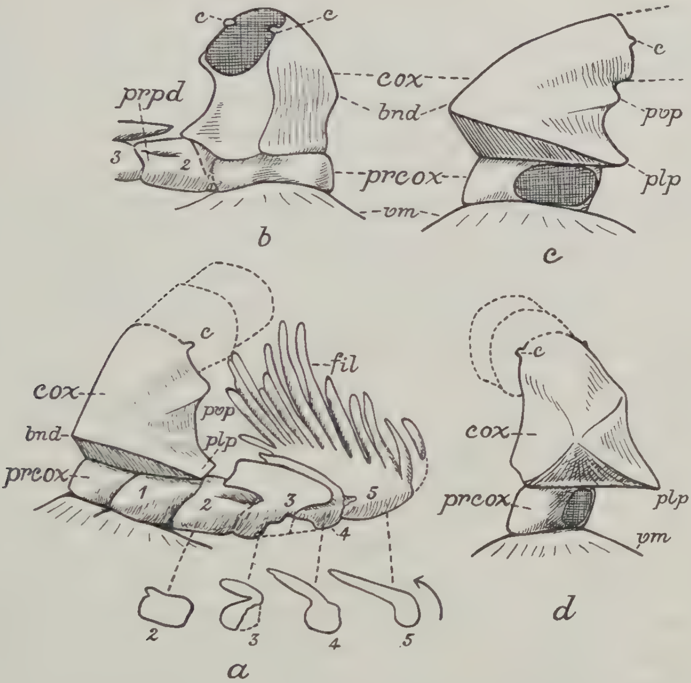


Fig. 10. The basal portion of the thoracic appendage in *Ceraurus pleurexanthemus* Green, Middle Ordovician. Semidiagrammatic drawing based on wax model of appendage No. III, Ser. C. (pl. 5—7). *a* = post-medio-ventral view. *b* = antelateral *c* = posterior and *d* = median view. The preepipodite is removed in *c*, *d* and drawn in full length in *a* which also demonstrates the sections of the preepipodite segments. *1—5* = segments of preepipodite, *bnd* = basendite, *c* = condylus, *cox* = coxa, *fil* = gill-blades or filaments, *plp* = postlateral process, *prcox* = precoxa, *prpd* = preepipodite, *pvp* = postventral process. *vm* = ventral membrane.

is much dissolved, especially along a middle line which continues on the coxa. In the glass models the third segment may be studied in V where it seems to be cylindrical with the distal aperture slightly wider than the proximal and the length of the segment a little longer than the diameter at the distal end.

The second to seventh segments. These segments are not well-exposed in the section-series. Among Walcott's thin sections, one unique slide (1918 pl. 27, fig. 1, 1921 pl. 104, fig. 4) demonstrates seven succeeding segments evidently belonging to one appendage though the two distal ones are a little separated from the proximal. The segments are practically uniform in shape and size, except the sixth which is shorter than the others. It is, however, not possible to decide whether the first segment preserved is a coxa or first segment of the telopodite. The appendage is curved in the distal portion.

Ser. K, not specially treated in this paper, has certain sections which demonstrate the four proximal segments of the walking leg. It is possible (especially by comparing succeding sections) to distinguish a coxa, four cylindrical segments of which the two proximal ones are somewhat shorter than the distal and a small fragment of a fifth telopodite segment is also shown. Since the same series demonstrates the dimensions of the tergites it is possible to calculate to a certain extent the length of the appendages in relation to the tergites.

In Ser. C certain parts of the telopodites are preserved on the right side (pl. 1). Three succeeding segments very probably represent the second to fourth segments. The two distal ones are cylindrical with somewhat oblique joint-lines and indications of a condylus at the distal margin of the third segment suggest movements round a horizontal axis at this joint, a feature indicated also in the curving of this portion of the leg.

Nos. 2—9 of Ser. C (pl. 1) show a peculiar slender, jointed appendage lying in longitudinal direction. At first sight this appendage may suggest an antenna, but the segments are of the same length as those of the walking legs and the width is not constant. Probably the slender appendage represents the distal portion of a walking leg which has been somewhat dissolved so that the thickness is reduced.

The preepipodite or gill-branch. The structures of this, previously little known appendage, are well demonstrated in Ser. C, particularly III, but also II and IV show the same characteristic features. The gill-branch, the dorsal or lateral branch in the biramous appendage, is divided into five separate segments of which the broad distal one carries the filaments or gill-blades (text-fig. 9, 10, pl. 2—8).

The first segment. The basal segment is situated along the posterior side of the precoxa with which it is closely connected. Following the sections through the precoxal region of II and III (Nos. 36—48), we notice, however, a distinct line of division between the two elongate segments lying side by side. The basal segment lies close to the ventral integument, but the tangent plane is very small and it is therefore hardly probable that the basal segment articulates directly to the ventral integument. I have considered the possibility that the joint-line between the basal segment and the precoxa is nothing but an apodeme of the type found in arachnid coxæ (Kästner 1931). Such apodemes, however, are normally restricted to one side of the segments and it is difficult to calculate a complete division of the segments from such structures. That the segment belongs to the preepipodite and not to the precoxa itself, is indicated also in the mutual resemblance, in posterior view, of the precoxa and the three succeeding segments (text-fig. 10 a, pl. 7, fig. c).

The first segment is shorter than the precoxa and its broadest portion is found at the distal joint-line which is more vertical than may be assumed from a posterior view. The median border is not so steep as in the precoxa. The ventral surface is completely covered by the flat postlateral process of the coxa. The structures described are also expressed in II and IV, although less distinct.

The second segment. The segment is flattened in dorsoventral direction and the outline in dorsal view is subtrapezoid with the joint-lines forming the parallel sides. The anterior side has a broad longitudinal furrow suggesting and indication of a lobe along the ventral border such as in the distal segments (text-fig. 10 a). The ventral surface has in the distal portion a median furrow which marks the anterior border of a process resembling a condylus. The structures in this part of III are, however, much dissolved so an accurate decision is difficult to give. In IV the second segment has the same shape as in III, but the median furrow is stronger developed and the glass model shows that the furrow both in the dorsal and ventral part, but not in the middle, devides the segment in two halves and more or less forms a continuation of the joint line between the precoxa and first segment. The line which is restricted to the dorsal and ventral portions of the segment, may possibly be due to apodemes or merely lines along which the test was dissolved (just as in the coxa and first segments of the walking legs). The proximal portion of the second segment is covered by the postlateral process of the coxa.

The third segment. This segment is to a considerable extent dissolved in III and especially the posterior portion and the joints are difficult to study. The segment consists of a short shaft — length just exceeding the width — and a large leaf-like lobe or “endite”. The shaft has a subquadratic cross-section. The lobe is attached along the ventro-posterior border. Both in III and II which have the lobe preserved, it is directed forward covering, in ventral view, not only the third segment, but also part of the second and fourth (text-fig. 10 a). Although the “endite” covers the segments it is distinctly separated from them by a narrow open space. The lobe has a subtrapetzoid outline and is attached at the middle of the largest of the parallel sides. The postlateral portion of the lobe is, in the wax model of III, connected with the fourth segment, but this is apparently due to a close contact and no real connection. In II, the distal portion of the lobe is covered by the lobe of the next segment and is therefore not exposed. (Pl. 5—8.)

The fourth segment. This segment is well exposed in the preserved preepipodites. Like the preceeding segment, it has a main shaft to which a leaf-like “endite” is attached. The shaft is somewhat flattened dorso-ventrally and has a length corresponding to the width along the proximal joint-line. The ovoid lobe or “endite” is attached at the antero-ventral surface of the shaft and is directed forwards. The lobe narrows towards the distal point which in III has a short bristle or spine. In II, the segment is less distinctly preserved — the middle portion being dissolved — but the lobe has about the same shape as in III and occupies the same position.

The distal joint-line, between the fourth and fifth segment, is well marked in III. The two lobes in front of the joint are not separated all the way, but this evidently is due to a causal touching of the two lobes. In ventral view the distal joint-line of the fourth segment is convex suggesting a condylus in this place. In dorsal view the joint-line is marked by a deep furrow, but the structures preserved cannot give detailed information of the movements possible at this joint.

The fifth segment. With its great expanded lobe provided with a fringe of long filaments, this segment is the most conspicuous and characteristic. Also in this segment a shaft is indicated in continuation of those of the more proximal segments. The shaft, visible only in III, is narrow, twice as long as wide and is only distinguished on the dorsal side in the preserved appendage. The leaf-like lobe or “endite” is attached at the antero-ventral margin of the shaft.

The thickness of the lobe is $\frac{1}{2}$—$\frac{2}{3}$, the thickness of the shaft and the ventral surface being flat, while the dorsal one is somewhat concave towards the lobe of the fourth segment. The lateral margin, carrying the filaments, is convex and the median margin slightly concave.

In II the lobe has the same general shape, but the median border is not exposed and the dorsal portion of the segment is not preserved. The lobe of II is $\frac{1}{4}$ longer than in III and if the dorsal remains above the dissolved parts also belong to the segment, it is even longer. The lobe of II also has more filaments as mentioned below.

The filaments or gill-blades. The fringe of filaments attached to the distal lobe may be studied in detail in the section-series. Particular interest is connected with these structures which previously were subject to ardent discussions and yielded the conception of the unique "spiral structures".

The gill-blades are well demonstrated in Series A and C and important details are also found in series D. Series C presents general information of the filaments and their connection with the rest of the gill-appendage. Series A gives in detail the construction of the single filaments, and both this and series D explain the origin of the peculiar "spiral structures". Following the previous description it is natural to describe Series C first.

In the fifth segment of appendage No. III the expanded lobe carries a row of close set filaments along the convex lateral margin. The filaments form together a broad fringe appearing as a continuation of the flat lobe. In the present specimen, where the fringes are directed forwards, they are somewhat convex-concave with the convex side facing dorsally. The fringe consists of separate filaments or gill-blades inserted in the margin in the same way as the teeth in the shaft of a comb. No extra knobs or fulcræ are intercalated between the bases of the filaments.

Each gill-blade or filament forms a long, slightly curved and often partly twisted rod. In the proximal half, or perhaps two-third, the cross-section is oblong with the longest (vertical) axis about twice as long as the width, the average measures being 0,26 mm and 0,14 mm. The longest axis forms a right angle to the surface of the lobe just like the direction of the teeth in relation to the shaft in a comb. In several of the filaments the distal third is much more slender than the rest of the filament. With its circular cross-section this distal portion appears as bristles attached to the blunt distal portions of the blade-shaped filaments. The cylindrical bristles resemble those at the distal ends of the filaments in *Cryptolithus*, but are, however, comparatively thicker. The original thickness may have been exaggerated during the preservation. In some filaments the shape changes gradually from blade-shaped into cylindrical so that it is difficult to distinguish a typical bristle at the distal end of the blade-shaped filament.

In Series A shown in pl. 9, 10, fig. 1—3, 8 and text-fig. 11, 12, the gill-blades of six to seven appendages are well demonstrated in the sections. The filaments are cut at right angles so the structures may be studied in great detail. The series comprises 35 longitudinal sections through the right cheek of cephalon and the six first thoracic segments. The specimen is partly enrolled, the four frontal thoracic segments forming a convex surface while the two last segments are outstretched. (Many specimens of *Ceraurus* seem to be enrolled in this way.) The sections cut through the distal (lateral) portion of the pleuræ and the proximal portion of the pleural spines. As may be expected from the reconstruction (pl. 11) a longitudinal section through the mentioned lateral portion of thorax would give this cross-sections of the filaments of succeeding preepipodites.

Text-fig. 11 shows fifteen magnified sections of the best preserved fringes of filaments in series A. Not all the filaments are equally well-preserved, but it is possible to establish the "normal" structure which permits a reconstruction such as is attempted in text-fig. 14. The filaments have an oblong, almost subrectangular cross-section. In cross-section the longest axis — the depth — is on the average three times the width seen in vertical view. In the sub-rectangular outline the corners are well-rounded and the sides (facing each other) are slightly concave signifying the presence of a shallow groove on either side just as in the filaments of *Neolenus*, *Triarthrus* and *Cryptolithus*. The depth (the width in horizontal view) is nearly constant about 0,3—0,33 mm. The smallest width is 0,1 mm as an average. The distance between neighbour filaments is like their smallest width, but may be greater distally when the filaments diverge.

The plaster model (pl. 10, fig. 8 and text-fig. 12) gives an impression of the somewhat flexible nature of the filaments. They are in some cases slightly curved and one of the blade-shaped append-

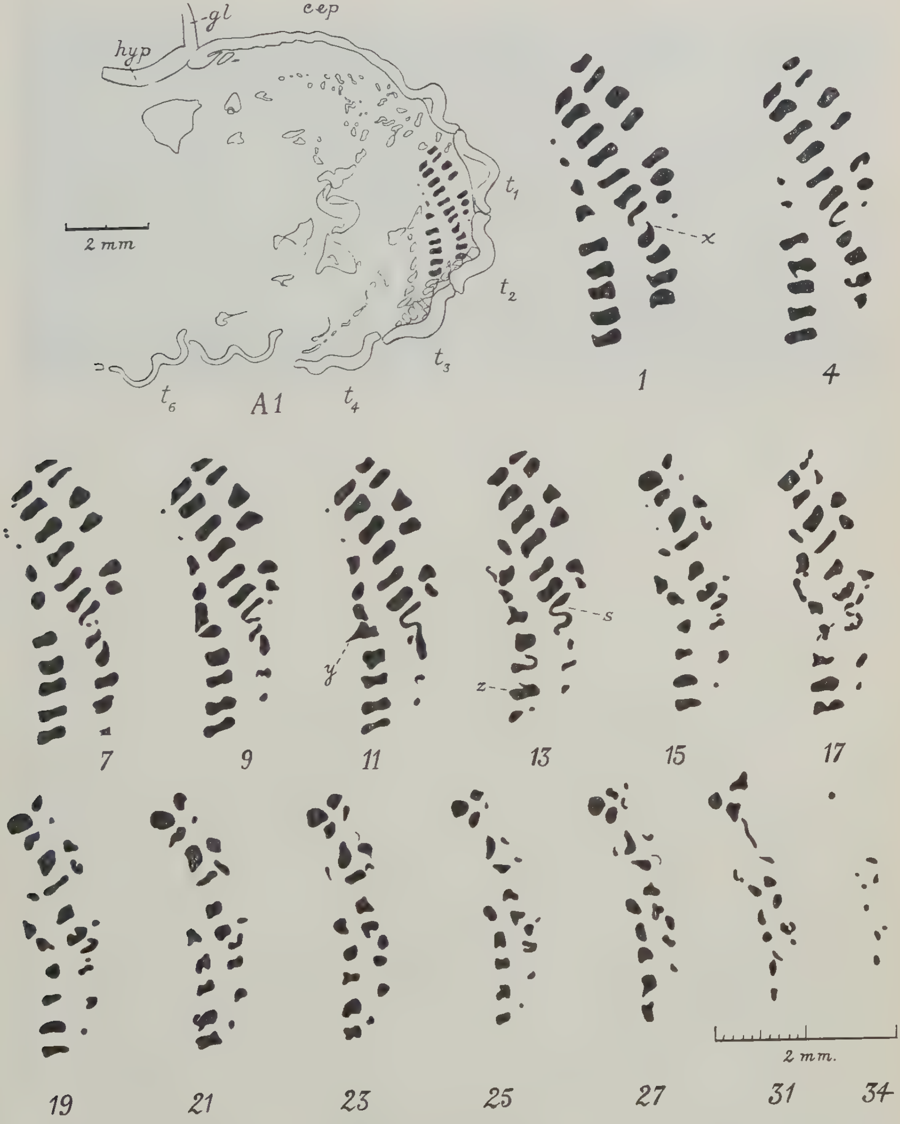


Fig. 11. Section-series of gill-blades (filaments) in *Ceraurus pleurexanthemus* Green, Middle Ordovician. Ser. A. 5,3 × and 11,8 × (text-fig. 12, pl. 9, 10, fig. 1—3, 8). The elongate cross-sections of the gill-blades are distinct. The series demonstrates also the decomposition of the filaments and the formation of "spirals". *1—34* = Nos. of sections, *cep* = cephalon, *gl* = glabella, *hyp* = hypostoma, *s* = "spiral", t_1—t_6 = tergites, *x*, *y*, *z* = drawn out margins of the gill-blades.

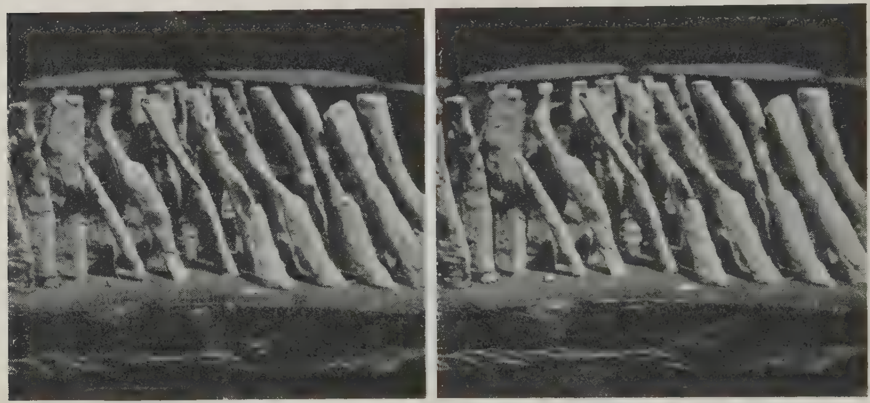


Fig 12. Stereoscopic photograph of a plaster model made from Ser. A (text-fig. 11, pl. 9, 10 fig. 1—3, 8). The model illustrates the apparently flexible nature of the blade-shaped filaments. Distal cylindrical bristles or setæ are shown in certain gill-blades and in the backgrouud sections of the tergites (basis of pleural spines) are visible.

ages is twisted no less than 70—80° as may also be seen in the sections drawn in text-fig. 11.

In the distal portion, the blade-shaped filaments change into narrow cylindrical rods appearing as small circular spots in the sections. In many cases the change is rapid, showing that the narrow rods have the characteristics of bristles attached to the rounded distal ends of the filaments such as in *Cryptolithus.* In other cases the structures are less clear, but the gradual change is here apparently due to irregular preservation.

The preservation is most satisfactory in Series A, especially in the earlier sections. In the later sections the outlines are often less distinct, one gets more "cloudy" contours and either too great or too small (slender) outlines of the filaments. Thick and rounded filaments are seen e. g. in A 1, third filament in the right row (text-fig. 11) and in A 15, the first filament in the middle row.

Greatest interest, however, is connected with the slender, apparently partly dissolved gill-blades or filaments. Through the earlier sections one notices how the outlines of the filaments in the middle row gradually change. In the seventh filament of A 1 the outline is too slender and the ends (the dorsal and ventral portions) are partly curved. In the eighth filament the dorsal portion is drawn out into a curved point (x). Such points are characteristic of many of the filament sections and in the inner row of A 11 it is seen that also straight points occur (y). It is important to substantiate that these outdrawn points are not restricted to the ends of the filaments, but also may occur at the middle portion as demonstrated in the seventh filament of the left row in A 13 (z).

Following the seventh segment in the middle row, through the sections A 1—A 17, one notices how it gets more and more slender and the ventral end becomes drawn out forming a more or less continuous line extending towards the curved point of the dorsal end of the eighth filament. In A 11—A 13 the two neighbour filaments are completely connected forming a S-shaped section giving the impression of a spiral (s). Here we have the "spiral structure" which Walcott found in several of his sections and which led him to the conception of the peculiar spirals in the exopodites (preepipodites) of the trilobite genera *Ceraurus*, *Calymene* and *Acidaspis* preserved in the Trenton Limestone of Trenton Falls, New York (comp. text-fig. 2). The sections A 1—A 17 show that the presumed spirals are nothing but curved ribbons connecting certain portions of neighbour filaments. Through the remaining sections A 19—A 34, the filaments, or their distal bristles, may be followed (although not well-preserved) as separate appendages.

Typical "spirals" are not developed in the other filaments of the series, but in many cases the decomposition and the extraction of the ends of the filaments may be studied.

Series D illustrates well the "spiral structures". Text-fig. 13 demonstrates the six sections in this short series from a small and partly enrolled specimen of *Ceraurus*. The sections comprise part of the cephalon and ten thoracic segments and cut through the bases of the pleural spines and distal portions of pleuræ just as in Series A. Sections of coxæ and walking legs are seen in the cephalic region and remains of filaments are preserved below certain tergites.

At first sight the fringes of filaments appear as zig-zag lines more or less effaced with a "cloudy" apparition. A closer study shows that only a few filaments, e. g. the second one in the right row in *D 2* and *D 5*, have maintained the original, normal outline. In general, the filaments appear too narrow and too long. The ends form curved hooks which in several cases are connected with the opposite end of the next filament, thus forming the "spiral structure."

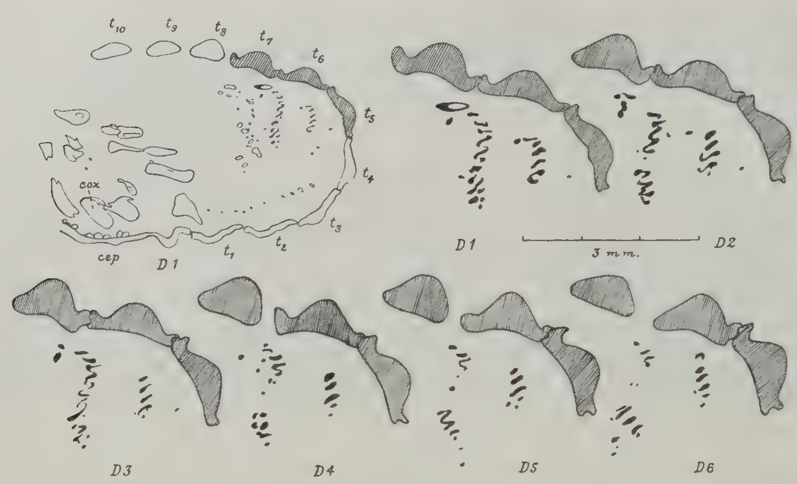


Fig. 13. Section-series of gill-blades (filaments) in *Ceraurus pleurexanthemus* Green Middle Ordovician. Ser. D. 4,4 × and 7,7 ×. The sections correspond largely to those of Ser. A (text-fig. 11), but the gill-blades are much more decomposed appearing as open "spirals" or scathered "threads". D_1—D_6 = Nos. of sections, *cep* = cephalon, *cox* = coxa, t_1—t_{10} = tergites.

In the left row the decomposition of the filaments is very distinct. The outlines change from section to section and often only a double row of smaller spots comprise the sole remnants of the elongate cross-sections of the filaments.

As mentioned in the historical introduction of the present genus (p. 159), Raymond rejected the spiral structures emphasized by Walcott, though somewhat differently, in his two papers of 1918 and 1921. Raymond (1920 p. 50) explained the spirals as due to sections along the edge of a shaft at the bases of the filaments. In my preliminary paper (Størmer 1933 p. 150) I suggested that the flexibility of the filaments was responsible for the spiral-like appearance of the filaments. Series A and Series D have clearly demonstrated that the "spiral structures“ of the filaments in *Ceraurus* and evidently also in *Calymene* and *Acidaspis*, are only a matter of preservation. The sections show that the calcite, which filled the empty cavities after the dissolved filaments, had apparently a tendency to migrate into the surrounding limestone and to unite with the calcite of the neighbour filament, The "cloudy" indistinct appearance is characteristic of these parts.

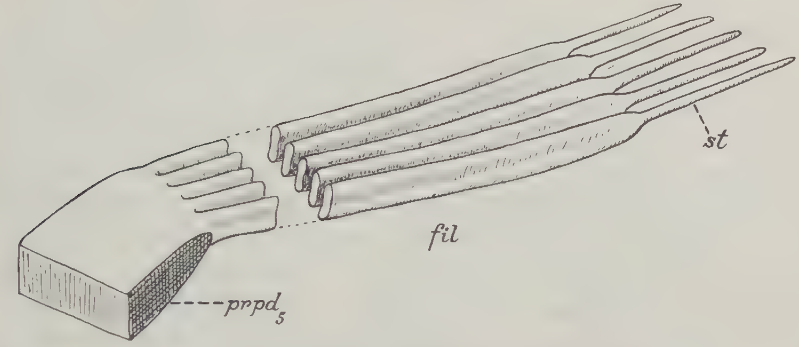


Fig. 14. Diagrammatic reconstruction of the gill-blades (filaments) in *Ceraurus pleurexanthemus* Green, Middle Ordovician. *fil* = gill-blades or filaments, $prpd_5$ = portion of fifth segment of the preepipodite, *st* = bristle.

Text-fig. 14 illustrates the structures of the filaments such as they may be restored after the described section-series. The blade-shaped filaments were evidently fairly flexible. It is not quite certain whether all the filaments had a narrow distal bristle or gradually changed from blade-shaped into cylindrical.

The position of the preepipodite. The preepipodites are well exposed only in Series C. As shown in text-fig. 8, 9 they have a rather unexpected position in forming an angle of 70°—75° with the direction of the telopodites. This causes a somewhat twisted appearance of the basal portion of the appendages (text-fig. 10 d). The preepipodites are directed postlaterally forming a distinct angle to the corresponding tergites. The slightly convex posterior margin has the distal lobes directed forward and the filaments pointing in antelateral direction. In ventral view, the succeeding preepipodites overlap each other backwards so that the ends of the filaments are free. These characteristics are different from those found in other trilobites except in one specimen of *Cryptolithus* (p. 212). Unfortunately, no more specimens are available to settle whether this was the natural position or not. In Series A the preepipodites may have been orientated in the same way as in C since the filaments in the ventral row point forward as shown in the plaster model (text-fig. 12, pl. 10, fig. 8).

A comparison with other known trilobites (p. 221) makes it probable, however, that the preepipodites became turned forward in the two enrolled specimens studied. Morphologically, it can hardly be doubted that the lobes and the filaments were originally directed backwards such as in *Neolenus* etc. Certain facts indicate also a rotation of the appendages. Text-fig. 10 a shows the cross-sections of the four distal segments of the shaft. It is significant that in the third segment the lobe originates from the post-ventral border of the shaft, in the fourth, from the ventral surface and in the fifth, from the ante-ventral border of the shaft. This suggests a gradual turning of the shaft. Another feature which may indicate a secondary turning of the gill-branch, is the presence on the dorsal side of the convex surfaces of the filamentous fringes. Probably the convex surfaces of the fringes faced downwards in order to form a "gill-chamber" below the ventral integument. The detailed mechanism of the distinct joints is not known, but the possibilities of considerable movement was probably present. For these reasons the preepipodites in the reconstruction (pl. 11, fig. a, b) are orientated with the lobes and filaments pointing backwards as in other trilobites.

The different segments of the preepipodites were evidently movable also in the horizontal plane so that the distal lobes by flection of the shaft formed a common plate or roof covering the gill-chamber. The mechanism and function of the preepipodites are discussed on p. 223.

Summary and Results on the Study of *Ceraurus*.

As shown in the earlier restorations of *Ceraurus* (text-fig. 2) the previous knowledge of the thoracic appendages was very limited and especially the structures of the preepipodites (exopodites and epipodites of authors) were little known. Below are given the major results of the present studies on the morphology of *Ceraurus*:

1. The tergites articulated by a special joint-mechanism. The structure of the dorsal skeleton indicates the presence of common arthropod muscles and limb-muscles of the type found in the Xiphosura.

2. No evidence is found in the fossil material of the presumed traces of the heart, alimentary canal and muscles.

3. The thoracic appendage was attached to the ventral membrane by an oblong transverse joint extending from near the ventral axial

furrow to a point below the appendifer and thus occupying about $^1/_4$ the width of the axis.

4. Between the integument and the powerful coxa a new, short, oblong segment — a precoxa or subcoxa — has been distinguished.

5. The coxa was sub-tetrahedric or plough-shaped with only a slightly protruding basendite. The coxa had a marked post-lateral process (Lade) covering the base of the preepipodite. Indications of two condyli in the ventral portion of the distal joint suggest an articulation of the telopodite along a longitudinal axis.

6. In the biramous appendage, the ventral or median branch — the telopodite or walking leg — is not known in detail, but it evidently lacked endites.

7. The dorsal or lateral branch — the gill-branch — was attached neither to the first trochanter (basipodite) nor to the coxa (coxopodite), but to the precoxa at the very base of the appendage. This is of particular importance since it shows that the dorsal branch neither was an exopodite nor an epipodite, but formed a preepipodite belonging to the precoxa.

8. The preepipodite had five distinct and powerful segments of which the three distal ones were provided with expanded lobes. Only the distal segment carried filaments which were blade-shaped with one cylindrical bristle at the blunt distal points.

9. The supposed "spiral structures" in the shaft of the preepipodite is only a secondary phenomena due to a special preservation.

Appendages of other Trilobite genera.

Calymene.

Calymene senaria Conrad, occurring together with *Ceraurus pleurexanthemus* Green, has not been subject to serial grinding. The numerous slides reproduced in Walcott's papers (1918, 1921) indicate, however, that the structures of *Calymene* were very similar to those of *Ceraurus*. Several sections (e. g. 1921, pl. 101, 105) show the same general shape of the coxa with a postlateral process (?). A precoxa seems also to be present (l. c. pl. 101, fig. 8). The broad fringes of filaments shown in the beautiful longitudinal section of an enrolled specimen (l. c. pl. 96, fig. 1, 2) makes it probable that the fringes occupied a larger portion of the preepipodite than in *Ceraurus*.

The preepipodite might have been more of the *Neolenus*-type with the gill-blades attached along a longer posterior margin. In the slide mentioned one notices how the "spiral structures" occur where the gill-blades are slender and partly decomposed and are thus evidently formed in the same way as demonstrated in the section-series of *Ceraurus*.

Raymond's restoration of *Calymene* (1920 text-fig. 16) gives an impression of the ventral structures. The shaft of the gill-branch is unknown and might have been jointed and broader than indicated in the restoration.

Neolenus and *Kootenia*.

Thanks to Dr. Walcott's unique discovery of the excellently preserved fossils from the Middle Cambrian Burgess Shale between Mount Field and Wapta Peak in British Columbia, we know remains of the ventral appendages in the trilobites: *Neolenus serratus* (Rominger), *Kootena dawsoni* Walcott, *Ptychoparia cordillera* (Rominger) and *P. permulta* Walcott. Only *Neolenus* is known more in detail through a number of specimens, the others being represented only by singular pieces. During my stay in Washington Dr. Ch. Resser kindly permitted me to study Walcott's types and other specimens preserved in the U. S. National Museum.

The appendages of the mentioned trilobites are described in a series of papers by Walcott (especially 1912, 1918, 1921) and Raymond (1920). The mode of occurrence and character of shale is described by Walcott (1912). The fossils are preserved in an exceedingly fine-grained, compact, dark shale. The trilobite remains are considerably flattened, but, while the delicate appendages are preserved only as thin, often glistening films, the more solid test, such as the thoracic segments, to a considerable extent has maintained its original relief. Although the delicate appendages are preserved as thin films showing but faint traces of the details within the well marked outline, it is generally possible to decide the mutual position, e. g. the overlapping, of different appendages.

Walcott's and Raymond's conceptions on the ventral structures of *Neolenus* are demonstrated in three restorations (Walcott 1918 pl, 31, 1921, pl. 94, Raymond 1920 text-fig. 8) which will be discussed below. It appears from the copied reconstructions of the appendages

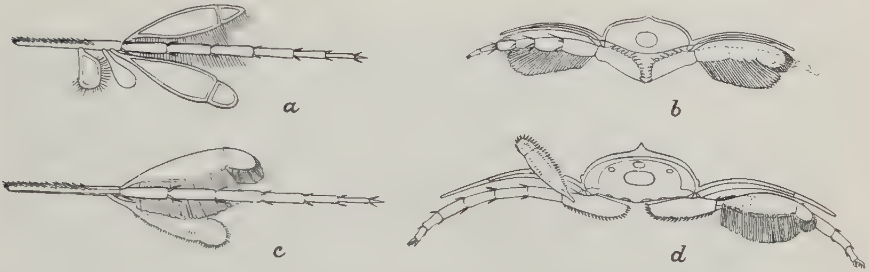


Fig. 15. Earlier reconstructions of the thoracic appendages in *Neolenus serratus* (Rominger), Middle Cambrian. a = Walcott 1918, b = Raymond 1920, c, d = Walcott 1921.

(text-fig. 15) that the interpretations of the preserved structures have deviated considerably.

Number and differentiation of appendages. As shown in the restorations *Neolenus* (and *Kootenia*) had eighteen pairs of appendages. The first pair was developed as uniramous antennæ, the sixteen next pairs as biramous legs mutually very much alike and the last eighteenth pair as uniramous cerci (caudal rami). Of the appendages mentioned the antennæ and the four anterior pairs of the limbs belong to the cephalon (strongly indicated in No. 58591[1] Walcott 1918 pl. 16, fig. 3), corresponding to the respective glabellar furrows and occipital furrow (comp. Størmer 1930 p. 95). Seven pairs of limbs belong to the thorax and five to the pygidium which also has the cerci. The dorsal test of the pygidium indicates also six fused segments although the posterior annulation of the axis is not always very distinct, but is expressed in the length of the posterior lobe (Walcott 1918 pl. 14, fig. 1. 15, 17, fig. 1). Walcott (1918 p. 126) mentions only five fused segments in the pygidium, a number evidently based on the number of marginal spines, but the annulation of the axis and the six pairs of marginal spines in *Kootenia* (l. c. pl. 1, fig. 2) which has the same axis, makes it highly probable that the pygidium possessed six fused segments. The sixteen limbs counted by Walcott (1921 pl. 91, fig. 1) are not quite convincing since one more may have been present in the cephalon and the seventh may not have been torn away.

---

[1] Unless otherwise stated the numbers of specimens of *Neolenus* and *Kootenia* refer to the U. S. National Museum, Washington, D. C., U. S. A.

The antennæ are longer than indicated in the restorations, being as long as the distance between the frontal border of the lateral eyes and the hind border of the pygidium (No. 58588). The antennæ are multi-jointed and flexible, often double-curved like the same appendages in *Triarthrus*. The short segments carrying bristles become more elongate towards the narrow ends.

The cerci or uropods (caudal rami) are very similar to the antennæ and evidently represent the posterior pair of appendages.

They were attached to the ventral surface and their shifting directions in the specimens preserved show that they were attached by joints to the ventral integument. The multi-jointed cerci were somewhat shorter than the antennæ, but although they appear stiff in most specimens, a slight curvature in some (No. 57657 Walcott 1918 pl. 17, fig. 2) suggests that they too were flexible.

The thoracic appendages. Practically no difference is found in the structures of the limbs of cephalon, thorax and pygidium. The frontal cephalic appendages are smaller than the other and in the pygidium the size decreases backwards, but otherwise there is no marked difference.

The coxa or coxopodite is oblong with a straight dorsal and a curved medio-ventral border. The short median border is not well exhibited in any specimen. The photograph of No. 65513 given by Walcott (1918 pl. 16, fig. 1) is too much retouched and No. 58589, after the latest preparation of Walcott (1921 text-fig. 15, pl. 91, fig. 2), therefore seems to give the best information (text-fig. 16). In the second and fourth legs the coxa has oblique spines not stronger than those on the telopodite segments, but directed more medially. Instead of a gently curved median border the first and last coxæ have a kind of reentrant, which in one of Walcott's illustrations, (pl. 91, fig. 3, photographed with light from the opposite side of text-fig. 15), appears as a crossing line bordering a narrow triangular area at the medio-basal portion of the coxa. The oblique border in the second coxopodite may be interpreted in the same way. The described structures indicate the possible presence of an extra basal segment, a precoxa, also in the appendages of *Neolenus*.

The coxa is practically always preserved from the anterior or posterior side suggesting that it was flattened from these sides. The area of attachment of the coxa or precoxa, is not clear, but it has

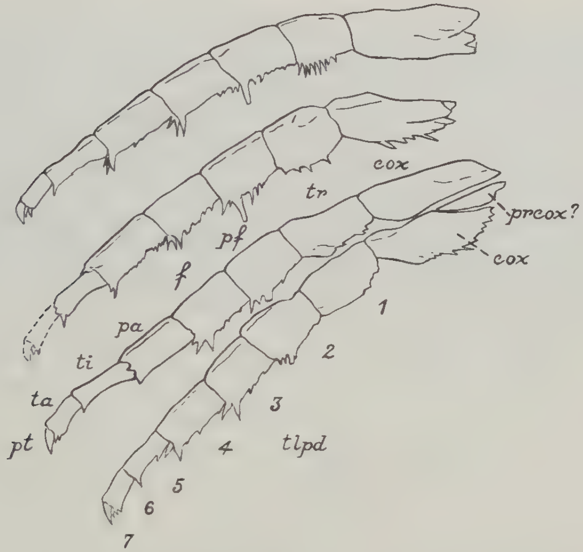


Fig. 16. Walking legs of *Neolenus serratus* (Rominger), Middle Cambrian, 3.3 ×. No. 58589 Coll. U. S. Nat. Mus. Washington. Drawing based on photographs published by Walcott. 1—7 = segments of telopodite, *cox* = coxa, *f* = femur, *pa* = patella, *pf* = prefemur, *prcox* = precoxa, *pt* = pretarsus, *ta* = tarsus, *ti* = tibia, *tlpd* = telopodite, *tr* = trochanter.

evidently been larger than in the earlier restorations. The exact position of the coxa in relation to the dorsal skeleton is of interest in this connection. Only the larger specimen of No. 58588 (Walcott 1918 pl. 15) has the appendages symmetrically arranged and the counterpart (not figured) of it shows clearly that the axial furrow passes just over the middle of the coxa. Since the apodemes to which the limb-muscles are attached, lie in the mesotergite, the area of attachment of the coxa rather occupies the median portion of the coxa (the portion of the possible precoxa) than the more distal portion indicated in earlier reconstructions. This would correspond to the structures found in *Ceraurus* as described above. Raymond (1920) suggested (text-fig. 15) that the spiniferous border of the coxa belonged to the dorsal surface and based his assumption on an indication of a notch on the distal part of the spiniferous margin. Later preparations of Walcott (1921 p. 391) have shown the notch to be only a narrowing of the limb at the joint-line between the coxa and next segment, and other specimens demonstrate clearly that the spiniferous margin belongs to the concave side of the curved limb and thus represents the ventral surface.

The telopodite is well exposed in many specimens. The best details are furnished by the specimens No. 58588 a—b (Walcott 1918 pl.17, fig. 3; 1921 pl. 93), No. 58589 (1918 pl. 18, pl. 20, fig. 1; 1921 text-fig. 15) and No. 65513 (1918 pl. 16, fig. 1, 2), the latter showing the cephalic telopodites. The telopodite consists of seven segments of which the distal one forms a small curved claw (not reckoned as a separate segment in earlier descriptions). The four proximal segments are fairly uniform in shape and size, the breadth diminishing but slighly outwards. Each segment has a subrectangular outline with the ventral margin somewhat convex and provided with a powerful spine especially in the distal part where one strong spine has a length about $^2/_3$ the width of the segment. The earlier restorations have not shown these spiniferous margins which are not less spiniferous than the ventral margin of the coxa. The straight dorsal margin has a narrow rim, probably serving as a supporting ridge. The section of the joints was probably elliptical with the vertical axis as the longest. The two distal rectangular segments are decidedly more narrow than the proximal ones. The distal claw is short and curved and is flanked by two (or more?) smaller spines. (The segments of the cephalic telopodites seem to have less convex spiniferous segments and the width is more gradually decreasing towards the distal point.) The articulation between the different joints is demonstrated only by the more or less straight transverse joint-lines.

The preepipodite (exopodite of earlier descriptions) is generally covered by the pleurotergites and therefore more difficult to study than the telopodite. The preepipodites have been studied specially by the author. Besides the specimens preserved in the U. S. National Museum, No. A 5128 of the Paleont. Museum in Oslo, shows good details of these structures (text-fig. 17). Among the specimens figured by Walcott in 1918 and 1921 the following gives the best information of the preepipodites of *Neolenus*: No. 65514 (1918 pl. 19, fig. 1—3, ·1921 pl. 92, fig. 5), No. 65519 (1918 pl. 21, fig. 6), No. 65520 (1918 pl. 22, fig. 1), No. 65521 (1918 pl. 23, fig. 1, 1921 pl. 92, fig. 5), No. 58588 (1921 pl. 91, fig. 1, pl. 93, fig. 2). A specimen of *Kootenia*, No. 65515 (1918 pl. 14, fig. 3) (text-fig. 18) proves to be of special importance and elucidates also the structures

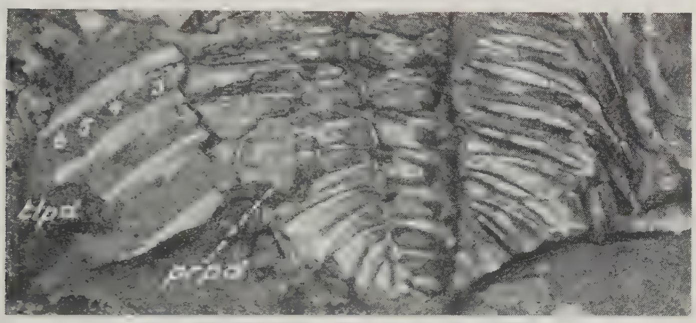


Fig. 17. Appendages of *Neolenus serratus* (Rominger), Middle Cambrian. 1,8 ×. The specimen illustrates the position of the preepipodites (*prpd*) between telopodites (*tlpd* 3—6) and the dorsal test, and at the same time demonstrates the mutual position of succeeding fringes of gill-blades. Untouched photograph of specimen No. A 5128 Coll. Pal. Mus. Oslo.

in *Neolenus*. The preepipodite consists of an elongate flat lobe occupying most of the space below the corresponding pleurotergite. The lobe which forms a shaft to which series of gill-blades are attached, is divided into two segments by a crossing joint-line. The line is not preserved in many specimens and therefore not indicated in Raymond's drawings (1920 text-fig. 3), but its presence is clearly demonstrated in specimens Nos. 65520, 65514 and one specimen marked 39 T. No other joint-lines are found, but the conditions in *Kootenia* (text-fig. 18) suggest the possible presence of some more. Raymond (1920 p. 28) assumed to trace several segments in a cephalic preepipodite of No. 65520, but the appendage is evidently a telopodite which also possesses bristles. The joint-line separates the the ovoid distal segment from the oblong sub-rectangular basal portion. Walcott assumed that the proximal portion was narrow, a feature not shown in the specimens, but based on the assumption that the lobe was attached both to the coxa and tubiform trochanter (basipodite) (1921 p. 393). A broad base of the preepipodite is indicated in Nos. 65514 and 65520. The point of attachment of the preepipodite is not clearly demonstrated, but in the last-mentioned specimens as well as in 65521, the filaments along the hind border of the shaft seem to continue practically to the axial furrows. This denies the possibility of an attachment to the basipodite and shows that the preepipodite was attached to the proximal portion of the coxa or to the precoxa.

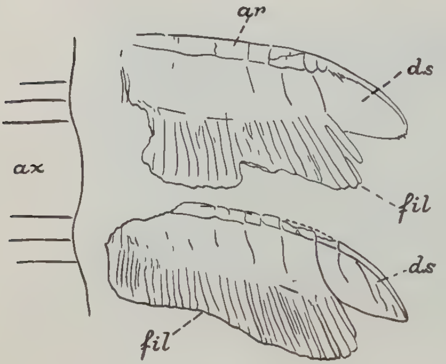


Fig. 18. Preepipodites of *Kootenia dawsoni* Walcott, Middle Cambrian. 5 ×. Drawn after specimen No. 65512 Coll. U. S. Nat. Mus. Washington. *ax* = axis, *ar* = anterior rim or ridge, *ds* = distal segment of shaft, *fil* = gill-blades or filaments.

The proximal portion of the shaft has a length like the pleura without the spine. The surface generally shows no details, but in specimens Nos. 65514, 65521 and particularly 65512 of *Kootenia* a frontal marginal rim is separated from the the rest of the lobe. Text-fig. 18 shows a distinct frontal rim which is divided into a number of short "segments" and seem to have been provided with short setæ. In *Neolenus* the annulation of the rim has not been traced, but this is probably due to the preservation which often leaves no traces even of the rim. In *Kootenia*, the main part of the shaft has certain crossing lines indicating a possible division also of this portion. The eventual segments would correspond to two segments in the frontal rim according to the observed details. It is, however, to be remembered that wrinkles may occur in the thin test as shown by Raymond (1920 text-fig. 3), but the wrinkles are shorter and more curved. The section of the shaft is not known, but the position of the preepipodites suggest that the shaft was rather flat and leaf-like as assumed by the earlier authors.

Along the posterior margin, the shaft is provided with close-set filaments or gill-blades forming together a flat brim with a convex posterior border. The length of the filaments is about 1,5 the width of the shaft except near the distal joint where the length is considerably smaller. In specimen No. 65521 the shaft had 57 gill-blades and No. 65514 has 15—17 on a distance equalling the greatest width of the shaft. The gill-blades or filaments were narrow blade-shaped with rounded distal ends and indications of shallow median grooves. The short distal filaments, exposed in No. 65521, appear to have a width = $^1/_6$ the width of the shaft at the distal joint-line. Walcott

(1921 p. 370) assumed a cylindrical basal portion of the filaments, but this cannot be decided from the specimens and the indication of a double posterior margin of the shaft rather means the upper and lower attachments of the flat filaments along the round margin of the shaft. The fringe of the preepipodite was evidently built up by close-set lamellæ with their larger surfaces facing each other just as in *Ceraurus*.

The distal segment of the shaft (*ds* text-fig. 18, 20) has a somewhat variable outline in the preserved specimen. Generally, the outline is more or less ovoid with an oblique proximal joint-line towards the main shaft, but in certain specimens such as No. 65514 (and pl. 13 fig. 1 depicted by Walcott 1931 and referred to *Leanchoilia superlata* Walcott by Resser) the segment is broader and in others such as No. 58588 it is quite narrow. Several specimens show that the distal segment had an anterior rim forming a continuation of the rim on the main shaft. In the figured specimen of *Kootenia* (text-fig. 18) the proximal portion of the rim has two "segments" indicated and, further outwards, the rim gets more and more narrow towards the distal point. Many specimens show that the distal joint is provided with numerous slender spines or bristles along the lateral and posterior edge. The length of close-set spines does not exceed $^1/_2$ the normal width of the segment. Both Raymond (1920 p. 26) and Walcott (1921 p. 370) point out that the setæ on the distal segment are decidedly different from the blade-shaped filaments on the main shaft but this is not shown in their restorations (text-fig. 15). The spines on the distal segment more resemble those on the segments of the telopodites (text-fig. 16).

The position of the preepipodites is clearly demonstrated in No. 65513 (not figured), 65514, 65520, 65521 and No. A 5128 of Pal. Mus. Oslo (text-fig. 17). The appendages are found below the pleurotergites above the telopodites. Usually the preepipodites are directed outwards parallel to the tergites, but in the cephalic region they have a more ante-lateral direction. The mutual position of two succeeding preepipodites is not correctly demonstrated in the earlier restorations by Raymond (1920 text-fig. 8) and Walcott (1921 pl. 94). In ventral view, the hind border of the filaments was hidden by the shaft of the following preepipodite just as shown by Raymond (1920 text-fig. 16, 20 and pl. 11) in *Calymene*, *Cryptolithus* and *Ceraurus*.

Remarks on the "epipodites" described by Walcott. In his paper from 1918 Walcott describes two epipodites and one exite in addition to the branches described above. Schuchert (1919 p. 231), however, questioned and Raymond (1920) denied the existence of these structures and in order to decide the question Walcott requested Doctores E. O. Ulrich, R. Ruedemann and R. S. Bassler to examine the material and express their opinions on the described structures. In their report (Walcott 1921 p. 366) they do not maintain the small epipodite (or endite) and exite (text-fig. 15 a) and this is also admitted by Walcott (l. c.), but they confirm Walcott's observations as to the larger epipodite. As pointed out in a preliminary paper (Størmer 1933), I cannot find sufficient grounds for maintaining this epipodite and below is given my results after having studied the single specimen in which they were noticed: No. 65515 (Walcott 1918 pl. 20 fig. 3, 4, 1921 pl. 92 fig. 1—4, and Raymond 1920 text-fig. 5).

The "epipodite" exhibited in No. 65515 (text-fig. 19) forms a jointed lobe of about the same shape and size as the preepipodites. The outline is symmetrical in the best preserved lobe, but has more of the typical preepipodite outline in the posterior lobes. The reasons given by Walcott and the Commitee for regarding the lobe as something different from the common preepipodite demonstrated in a number of specimens, are chiefly: 1. The lobe has no minute anastomosing sub-imbricating "terassen" lines such as the common preepipodite (exopodite authors), 2. the lobe has a "carina" or line of stronger density running parallel to the edges and in several places the line carries short setæ or denticles. 3. Instead of the blade-shaped filaments the edge of the lobe carries minute setæ.

The first point is of minor importance since the imbricated lines are also absent in other specimens and evidently indicate wrinkles in a soft test rather than true "terassen" lines of the type found in trilobites. The two other points and certain other features, are discussed below.

The specimen is preserved in a special way indicating that the appendages were pressed by an ante-dorsal pressure causing a displacement of the limbs. As shown in the drawing text-fig. 19 the posterior "epipodites" are less symmetrical than the frontal ones, suggesting that they were preserved under a different angle. The third coxa and telopodite have also a different direction than the

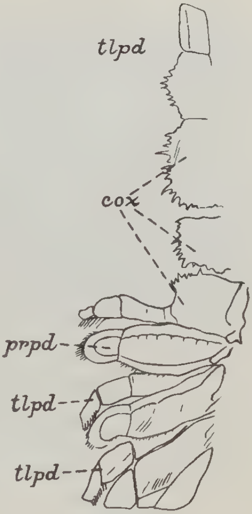


Fig. 19. The presumed "epipodites" in *Neolenus serratus* (Rominger), Middle Cambrian. $^{3}/_{2}\times$. Drawn after specimen No. 65515 Coll. U. S. Nat Mus. Washington. *cox* = coxa, *prpd* = preepipodite, *tlpd* = telopodite.

posterior ones. The two posterior "epipodites" have parallel lines indicated in the post-lateral part of the main lobe. The denticles or short setæ (?) are regularly spaced along the inside of the "carina" on the frontal lobe and close-set outside the "carina" on the frontal lobe and close-set outside the "carina" and edge of lobe. My reasons (Størmer 1933) for regarding the described appendages as identical with the common epipodites are as follows:

1. Both the outline and position of the lobe above the telopodites are characteristic of true preepipodites.

2. The single specimen in which the structures are demonstrated has been subject to ante-dorsal pressure by which the fringe of filaments was more or less concealed below the shafts and probably may be traced in the oblique parallel lines crossing the shafts of some of the appendages.

3. The median area bordered by the "carina" may be identical with the frontal rim of the preepipodite as demonstrated in *Kootenia*. The spaced "denticles" on the inside might then be interpreted as the furrows separating the "segments" of the rim. Close-set denticles are also traced along the rim in *Kootenia* and their absence in most specimens may be due to preservation such as the telopodite spines which are only exhibited along the borders. This explanation demands, however, a considerable compression of the lobe in a direction corresponding to the greatest width (diameter) of the lobe, but the characters found in the single specimen indicate these conditions.

The restoration on text-fig. 20 indicates the structures of the limbs according to the author's investigations of earlier descriptions and original specimens. It is to be remembered that the basal portion of the limb is not known in detail.

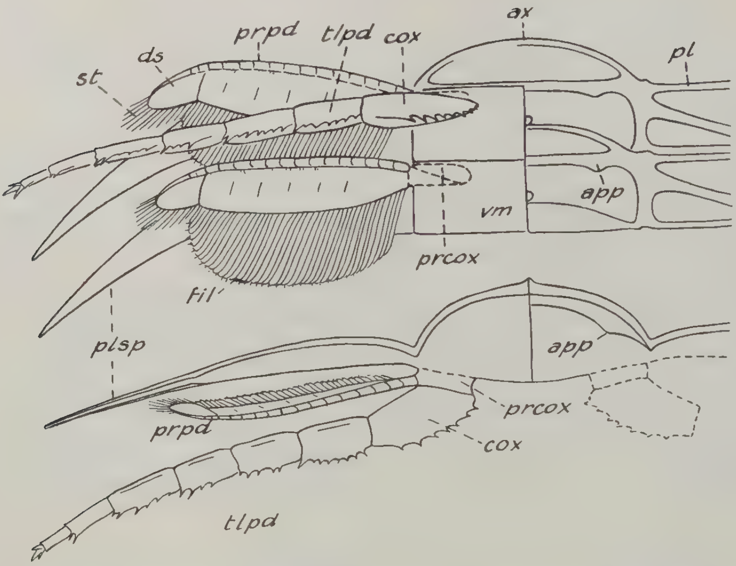


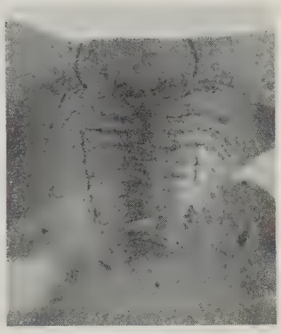
Fig. 20. Reconstruction of the appendages in two thoracic segments of *Neolenus serratus* (Rominger), Middle Cambrian. Ventral (above) and anterior (below) views. *ax* = axis, *app* = appendifer, *cox* = coxa, *ds* = distal segment of preepipodite, *fil* = gill-blades or filaments, *pl* = pleura, *plsp* = pleural spine, *prcox* = precoxa, *prpd* = preepipodite, *st* = setæ or brisles, *tlpd* = telopodite, *vm* = ventral membrane.

Triarthrus.

The pyritized specimens of *Triarthrus* from the Utica Shale near Rome, New York, have become classical for the studies of trilobite appendages. Ruedemann (1926) has shown that the specimens described as *T. becki* Green actually belong to the species *T. eatoni* (Hall) and this name is therefore used in the present paper.

The specimens of *Triarthrus eatoni* (Hall) are but slightly compressed in the black, compact, fine-grained shale. The chitinous test is replaced by pyrite which shows very well the fine details of the ventral structures. For many years Beecher was occupied in cleaning, in the most excellent way, the better specimens by means of rubber and polishing powder. The method of preparation is very efficient, but one has to bear in mind that joint-lines, only shown as faint fissures on the surface of the appendages, are easily destroyed by the rubbing and, therefore, may be overlooked in cleaned specimens.

Fig. 21. X-ray photograph of *Triarthrus eatoni* (Hall), Upper Ordovician, showing position of "biramous" appendages.



An appendage may also appear too slender when more than half the thickness is rubbed away.

During my stay in U. S. A., I had the opportunity of studying briefly the specimens cleaned by Beecher and to make the drawings shown in text-fig. 22. At Harvard University I had some X-rays photographs taken in order to demonstrate the mutual positions of tergites and appendages (text-fig. 21). Evidently new details could be obtained by photographing Beecher's cleaned specimens on fine-grained X-ray film. Etching with flouric acid may also prove to be useful.

The ventral structures of *Triarthrus* have been described and discussed in a number of papers. The more important results are published by Beecher (1895 a, 1896, 1902), Raymond (1920) and Walcott (1918, 1921). When examining carefully the extensive descriptions it becomes evident, however, that certain important details, pointed out in the description of the individual specimens, have been neglected in the final reconstructions and, therefore, are little kown to the students of paleontology. On the other hand, certain characters demonstrated in the reconstructions are not known in details and may also have been reconstructed in a different way.

The ventral structures demonstrated in *Triarthrus*, comprise besides the hypostoma, the metastoma, the sternites, the anal opening(?), the antennæ and the appendages of thorax and pygidium. The three-lobed metastoma is situated just behind the hypostoma between the frontal biramous appendages. Beecher (1902) demonstrated imprints of the delicate ventral integument and showed that the membrane below the pleuræ (not pleuro-sternites) were smooth, while the sternites (mesosternite of Beecher) had about three pairs of oblique longitudinal ridges in each segmental "ring". He regards the ridges as apodemes serving as muscle attachments and assumed that it was similar structures which Jaekel (1901) explained as basal segments of appendages. It is possible that the ridges may serve as support of the thin test in a way of "corrugated plate structure" as is found in the dorsal shell of many trilobites.

An anal plate with an anal aperture was described by Beecher and Raymond (1920 p. 44), but as mentioned by Walcott (1921 p. 416) the structures are not clear and the presumed anal plate may only be part of the ventral integument squeezed backwards.

The antennæ are multi-jointed and flexible and generally curved forwards in a lyriform fashion. The basal, oblong segment of the uniramous appendage is attached near the lateral border of the hypostoma. The 40—50 distal segments are much shorter than the basal segment.

The biramous appendages of cephalon, thorax and pygidium are preserved in a number of specimens. Thanks to the more plastical preservation, however, we rarely get one appendage completely exposed from one side such as in *Neolenus*. During the cleaning process, parts of the exposed appendages are always removed and the appendages generally appear too narrow. Raymond (1920 p. 42) points out that “the gnathites of the cephalic appendages are much less like the endobases under the thorax than Beecher earlier thought”. The difference, however, may to a certain extent be due to the cephalic “gnathites” being directed more forwards and therefore have their flat posterior surface exposed. In discussing the thoracic appendages it is necessary also to mention the cephalic appendages concerning the presence of a precoxa.

The thoracic appendages. In his earlier paper from 1894, Beecher demonstrated the biramous appendages, but only the distal portions of the coxæ were preserved in the specimens at hand. This evidently, caused Beecher to assume that the coxa was attached at a small area of the ventral membrane below the axial furrows. When more material was provided the longer median portion of the coxa was demonstrated (Beecher 1895 a) and this inward prolongation was regarded by Beecher as a free median lobe although there was no real base for such an interpretation. The assumption of a long median process, a basendite, is maintained in the later reconstructions of Raymond (1920 fig. 10), Walcott (1918 pl. 32, 34, fig. 4—7; 1921 fig. 21, 22), and others; only Eriksson (1934 p. 257) has seriously doubted its existence, a view also confirmed by the present studies.

Concerning the basal portion of the appendages, I have not specially studied the original specimens, but the photographs and drawings published by Beecher (1902) and Raymond (1920) indicate certain features which, in connection with the results obtained from the studies of *Ceraurus*, suggest an interpretation of the basal portion of the limb as presented in text-fig. 23. Specimens 216[1] and 219 show the thoracic appendages in anterior-ventral view exposing different depths of the coxæ. Text-fig. 22 d depicted from Beecher's photograph (l. c. pl. 4), of No. 219, illustrates how the proximal portion on the right side (left in text-fig.) deviates considerably from the more ventral portion exposed on the left side. The broad parallelogram-shaped portion on the right side is divided by a longitudinal line into a medio-basal portion and a lateral portion with the typical coxa with the telopodite attached at the distal end. A similar division is found in No. 216, but less distinct. The medio-basal portion seems to lie above the coxa and to have the the gill-branch attached on the median side of the axial furrow. The structures described cannot be interpreted as folds in the ventral integument (the folds appear as longitudinal structures in Walcott's fig. 14 pl. 104, 1921) and the directions correspond to the direction of the coxæ and not transverse like the segmental joints. It is therefore probable that the basal portion represents a precoxa and the gill-branch attached to it consequently a preepipodite as in *Ceraurus*. It appears from the drawing that the basal portion is situated below and median to the axial furrow and the basendite of the coxa therefore reached but slightly beyond the median border of the basal segment. The assumption of a long median basendite cannot be maintained and the spines are also doubtful since they are traced only in one specimen (Walcott 1921 p. 416).

A specimen figured by Walcott (1918 pl. 29, fig. 2, 3 and 1921 pl. 95, fig. 22, 23) also indicates a division of the basal portion and the gill-branch attached to a precoxa.

The coxal portion of the cephalic appendages also show traces of a segment proximal to the coxa. Beecher (1895 a p. 95—96) mentions that the coxa of the appendages increase in relative strength from the pygidium towards the mouth, and Raymond (1920 p. 42) points out that the gnathites of the cephalic appendages were much less like the endobases under the thorax than Beecher earlier thought. It is interesting to notice that in most of Raymond's photographs (Nos. 211, 214, 215, 217) of the cephalic coxæ, preserved in post-

---

[1] Unless othervise stated the Numbers of specimens of *Triarthrus* and *Cryptolithus* refer to the Yale University Collections at Hew Haven, Conn. U. S. A.

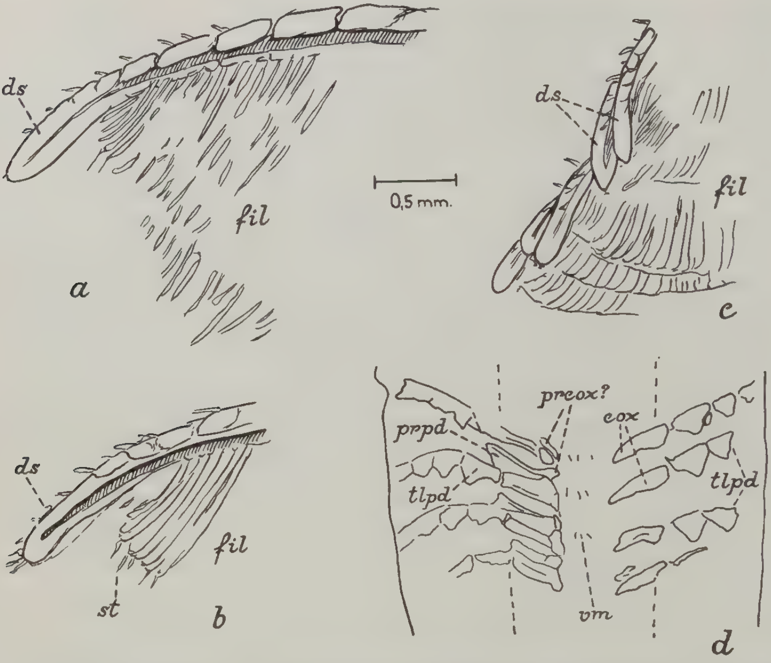


Fig. 22. Appendages of *Triarthrus eatoni* (Hall), Upper Ordovician. Distal portions of preepipodites (a—c) and basal portion of appendages (d). 21 × and 3,5 ×. a—c drawn from specimens No. 220 (a, b), 221 (c) and 219 (d) Coll. Peabody Mus. Yale Univ. New Haven, d drawn after photograph published by Beecher.

ventral view, a faint transverse line indicates a separate basal portion which may be interpreted as a basal segment, a precoxa.

A study of the published photographs indicates strongly that the thoracic appendages of *Triarthrus* probably had a precoxa to which the preepipodite was attached.

The telopodite consists of seven segments of which the distal one apparently is represented by the median of the three distal spines or claws. Triangular endites are very conspicuous (if not ground away during the cleaning) especially on the posterior telopodites and the portions of the telopodites covered by the dorsal shell. In the pygidium the endites make the segments even deeper than long. But also the frontal thoracic legs bear endites, though less pronounced and present only on the three proximal segments. The segments were provided with spines or setæ as shown by Raymond.

As indicated in earlier reconstructions, the main bend of the telopodite is found at the third segment which is shorter than the second and fourth. The fifth and sixth segments are more narrow and shorter than the more proximal ones and resemble in this respect the same segments in the legs of *Neolenus*.

The length and position of the telopodites are demonstrated in many specimens and may be studied in the x-ray photograph in text-fig. 21. The telopodite was a little more than twice as long as the pleura, and had a transverse position with the distal portion curved slightly backwards. In life, the walking legs evidently were directed somewhat backwards.

The preepipodite (=exopodite or epipodite of earlier authors) I have especially studied in the original specimens and a reconstruction of the distal portion of the gill-branch was given i my preliminary paper (1933 fig. 1 b).

The attachment of the preepipodite is not well shown in the specimens. Raymond (1920 p. 155) assumed that the appendage was attached both to the coxopodite and basipodite since the proximal portion of the the appendages always shows the two branches close to each other. Specimen No. 204, (l. c. text-fig. 42 and Walcott 1921 text-fig. 23), on which he particularily bases his opinion, only shows that the preepipodite lies just above and on the telopodite, and a connection with the basipodite is very unlikely from a general point of view. The specimen on text-fig. 22 d, redrawn after Beecher, indicates that the preepipodite continued beyond the axial furrow and was attached to the basal portion of the appendage above the middle portion of the coxa. Although the structures are not quite distinct, the gill-branch seems to be attached to a precoxa as mentioned above.

The shaft of the preepipodite has not a larger proximal segment as shown in Beecher's and Raymond's reconstructions, but is built up by numerous, short cylindrical "segments" separated from each other by somewhat oblique joint-lines, forming together a slender, slightly curved shaft almost as long as the telopodite. The segments are provided with short setæ along the anterior border. As described both by Raymond (1920 p. 156) and Walcott (1918 p. 141, 1921 p. 415), (but not demonstrated in their reconstruction), the shaft terminates in a blunt spoon-like segment along the frontal margin of which a crenulate rim or ridge forms a continuation of the segmented shaft

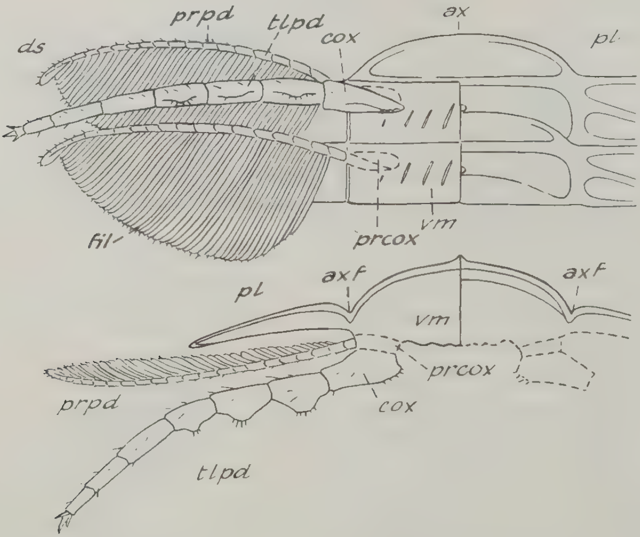


Fig. 23. Reconstruction of the appendages in two thoracic segments of *Triarthrus eatoni* (Hall), Upper Ordovician. Ventral (above) and anterior (below) views. *ax* = axis, *axf* = axial furrow, *cox* = coxa, *ds* = distal segment of preepipodite, *fil* = gill-blades or filaments, *pl* = pleura, *prcox* = precoxa, *prpd* = preepipodite, *tlpd* = telopodite, *vm* = ventral membrane.

(Størmer 1933 text-fig. 1 b). The distal portion of the shaft is well shown in text-fig. 22 a—c. The terminal portion has a longitudinal furrow or groove which continues as such along the posterior margin of the shaft. The filaments forming the broad fringe are inserted in this groove. As shown in text-fig. 22 and illustrated by Walcott (1918 pl. 29, fig. 2, 3, 11) and Raymond (1920 p. 3, fig. 6), the gill-blades were attached at an oblique angle so that the distal ones are more or less covered by the terminal spoon-shaped segment serving as an "operculum".

The blade-shaped filaments, which evidently were somewhat flexible, wert arranged like the teeth in a comb with the larger surfaces facing each other. The filaments were hardly more cylindrical at their base and the width was apparently about $^4/_1$ the thickness. The gill-blades had a shallow median groove and were provided with short, thin setæ of which those at the distal blunt ends of the filaments were the more conspicuous text-fig. 22 a—b).

The mutual position of succeeding preepipodites is not well demonstrated in the prepared specimens. In 214 (Raymond l. c. pl. 3, fig. 6) and 221 (l. c. pl. 5, fig. 5) (text-fig. 22 c), the appendages are out of position, but it is probable from the position of the inturned preepipodites, that the broad fringes, usually ground away during the cleaning, covered each other so that only the frontal portions were visible in ventral view just as in *Neolenus*.

Walcott considered he had found an extra epipodite in the appendage of *Triarthrus*, but it was challanged by Raymond, and Walcott (1921 p. 424) maintains it in his last restoration only "as a tentative suggestion", and since there are no real evidence for its existence it has to be omitted in the present reconstruction (text-fig. 23).

Cryptolithus.

The black shale with *Triarthrus* also contains specimens of *Cryptolithus tessellatus* Green. For many years Beecher was occupied in cleaning the thirteen pyritized specimens with the appendages preserved. He was able to excavate certain specimens both from the dorsal and ventral side leaving only a paper-thin object mounted in Canada Balsam. In his single publication on the specics, Beecher (1895 b) gives valuable information on three specimens, but the bulk of the material was not known until Raymond (1920) presented detailed descriptions and good illustrations of the interesting form.

Although several points, such as the cephalic appendages, the proximal portion of the appendages, and the shaft of the preepipodite, are practically unknown, the specimens exhibit many important details not so well exposed in other trilobite limbs. Raymond (l. c. text-fig. 20) presents a good restoration of the ventral surface of the species (unfortunately the first pair of thoracic appendages are left out), but the present studies suggest that the gill-blades were longer and that the shaft of the preepipodites had a distal "opercular" segment as mentioned below.

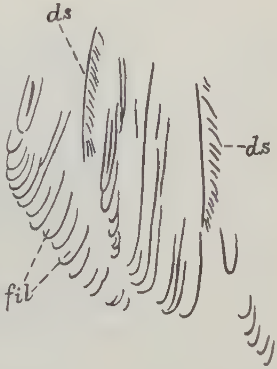
The antennæ were slender and had oblong segments instead of the short ones found in the other genera. The uniramous appendages are directed backwards and were evidently attached below the dorsal antennuary pits (Raymond l. c. p. 159).

The thoracic appendages. The coxa is shown in specimen No. 233 to be narrow and short (l. c. pl. 7, fig. 1, text-fig. 45). In the appendages preserved on the left side, the narrow coxa originates just in front of the deep appendifer and a small piece may be explained as a possible part of a precoxa. *Cryptolithus* hardly possessed powerful coxæ with distinct endobases since such structures evidently would have been traced in the specimens. The length of the coxa is smaller than of each of the succeding segments of the telopodite.

The telopodite is strongly bent in the preserved specimens and the fourth segment forms a "knee" or patella. The telopodites are said to have six segments of which the distal one terminates in tufts of spines, but Beecher's drawing (Raymond l. c. text-fig. 45) shows plainly a terminal claw, a seventh segment, between the slender spines. Intersegmental membranes are visible between the distal segments. The length of the different telopodite segments is not so easy to establish, but the first, second and fifth seem to be shorter than the third, fourth and sixth. Prominent triangular endites, provided with tufts of spines, are found on the fourth and fifth segment of the thoracic telopodites, but probably occurred on more segments in the small appendages of the pygidium. The first and second segment have close-set spines mounted on lobes and directed medially near the proximal joint-line. These structures suggest an interesting link between the typical endites perpendicular to the lobe and the basendite which almost forms a median prolongation of the length of the coxa. As in *Neolenus*, the endites and accompanying spines seem to be medio-ventral in the proximal portion of the limb, ventral in the middle, and latero-ventral in the distal portion.

The preepipodite is not well-known, but parts of the very broad fringe are exposed in most of the specimens. The appendage evidently consisted of a long, slender, multi-segmented shaft to which a broad fringe of gill-blades was attached just as in *Triarthrus*. The shaft is not well exposed, but Raymond (l. c. p. 161) mentions numerous short segments in the shaft of No. 235. In the earlier descriptions and restoration of *Cryptolithus*, the distal portion of the shaft is evidently not correctly interpreted. Both Beecher and Raymond mention the presence of "a regular succession of flattened, oval bodies armed with numerous forward-pointing spines" in the posterior part of the body. The plates which are explained as "leaf-like exopodites" or rather the outer halves of them, are shown in 235 (l. c. pl. 7, fig. 2, pl. 9, fig. 1), and also in 238 (l. c. pl. 8, fig. 4,

Fig. 24. Gill-blades or filaments of *Cryptolithus tessallatus* Green, Upper Ordovician. 24 ×. Drawn after specimen No. 236. Coll. Peabody Mus. Yale Univ. New Haven. *ds* = distal segment (?) of preepipodite, *fil* = gill-blades or filaments.



text-fig. 46). Both in position and shape the flattened bodies correspond closely to the distal spoon-shaped segment in *Triarthrus* and are obviously homologous with those. In the thoracic region the terminal segments are somewhat different, being more elongate almost like the filaments (text-fig. 24), but their spiniferous margin and position at the distal end of the fringe show them to be the same as the plates in the posterior portion of the body. The distal segment forms a kind of "operculum" which protects the filaments. It is distinctly angular to the direction of the shaft and therefore differs somewhat from the distal segment in *Triarthrus*.

The fringe of gill-blades attached to the shaft is very prominent. Specimen 235 (Raymond 1920 pl. 9, fig. 2) shows the length of the longest filaments to be equal to the length of four thoracic segments. (The length of the shaft is difficult to establish, but in 231 the filaments reach the lateral border of thorax.) The filaments are very well preserved and the specimens show definitely how the filaments are partly curved and twisted, indicating their flexible nature. Each filament is blade-shaped, evidently up to the base according to specimens. The thickness of the blade-shaped filaments seems to be $^1/_4$ to $^1/_3$ the breadth. A shallow median groove is found on the surface of the blades. The distal point is well rounded and provided with a distinct terminal spine (l. c. pl. 9, fig. 2) and spines occur also on other parts of the filaments.

The structures in *Cryptolithus* show very clearly that the filaments are blade-shaped and attached to the shaft of the preepipodite like the teeth of a comb and not like rows of cylindrical bristles or setæ.

The position of the appendages in the specimens of *Cryptolithus* is interesting. The telepodites are strongly curved in the distal portion and the position in preserved state indicates that this part was directed downwards and slightly backwards in the thorax and pygi-

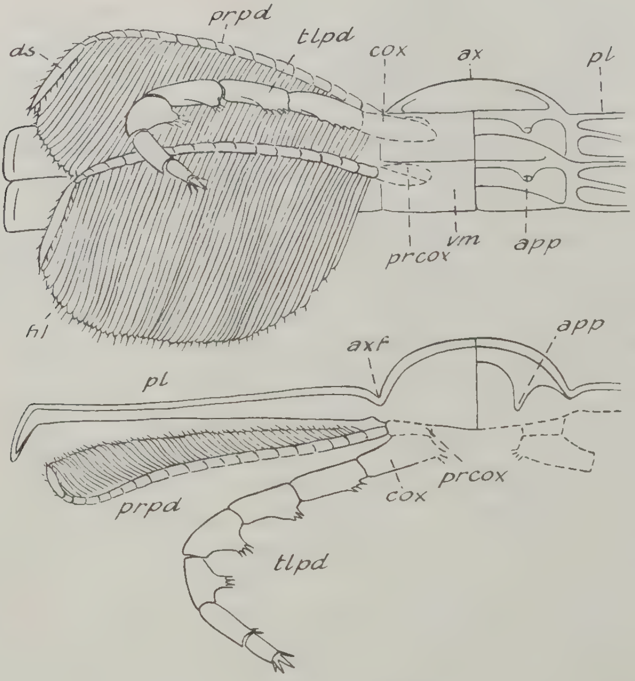


Fig. 25. Reconstruction of the appendages in two thoracic segments of *Cryptolithus tessellatus* Green, Upper Ordovician. Ventral (above) and anterior (below) views. Letters as in text-fig. 23.

dium during life. The position of the preepipodites is often difficult to make out, but in general it seems to have been as shown in the restoration (text-fig. 25). The distal portion is bent in ventral direction occupying the space outside the curved telopodites. The space above the preepipodites may have been closed when the distal portion of the branch was lifted and the "opercular" distal segment was kept vertical against the ventral membrane or against the nearly vertical lateral borders of the pleurotergites of this form. No. 238 (Raymond l. c. text-fig. 46) shows a peculiar arrangement of the preepipodites. They are directed forward, but at the same time overlapping so the posterior border of the fringes are exposed in ventral view (comp. Ser. C of *Ceraurus* p. 189).

Isotelus.

The specimens of *Isotelus maximus* (Locke) and *Isotelus latus* Raymond were among the earliest known trilobites which showed remains of the appendages. The structures are described and discussed by Walcott (1918, 1921) and Raymond (1920). The specimens are not well preserved, but the powerful coxæ are very distinct. In Walcott's (1918 pl. 25) drawing of *Isotelus maximus*, very short basal segments of the telopodites are indicated. The short segments are not shown in Raymond's restoration (1920, text-fig. 9) and not in the published photographs, which on the contrary indicate a "normal" length of these segments. The telopodites are slender and directed obliquely forwards. In outstretched position they would reach just beyond the lateral margin of the tergites. Preepipodites have not been shown definitely, but Walcott (1921 p. 430) who has studied the type specimen, assumed to find markings of fimbriæ above the telopodites.

Phacops and *Asteropyge.*

In two papers, Broili (1929, 1930) gives interesting information on the structures of the appendages in two trilobite-genera from the well-known Lower Devonian Hunsrück Shale of Bundenbach in Germany. The chief importance of the finds lies in the fact that these late representatives of the trilobite stock seem to have had the same types of limbs as the Cambrian and Ordovician forms and thus point out the conservatism of the general plan of construction of the trilobite legs.

The ventral appendages are preserved in pyrite and to some extent also silicified in the black shale, not unlike the shales with *Neolenus* and *Triarthrus.* Three specimens of *Phacops* and one of *Asteropyge* has been described and an additional specimen of *Phacops* is described below.

The specimen shown on pl. 12, fig. 1, 2 and text-fig. 26, (No. A 24413 of Pal. Mus. Oslo Coll.) was purchased through Mr. G. Korff in Hanau, Germany. Cleaned from the ventral surface, the pyritized limbs are well exposed below the thorax and pygidium. In order to reveal structures still concealed in the matrix, the specimen has been studied by means of x-rays, a method applied for several different Hunsrück-fossils by Richter, Lehman (1938) and others. Through the kindness of Dr. J. Friman Dahl, x-ray photographs (pl. 12, fig. 2) were taken at the Red Cross Hospital in Oslo. Stereoscopic x-ray photographs did not give particularly good results on account of the considerable compression of the specimen. The x-ray method has proved very useful in showing one of the unexposed antennæ and especially in establishing the position of the ventral appendages in relation to the dorsal shell. A direct photograph (pl. 12, fig. 1) was taken with good results by using dark red filter by which the brown pyritized limbs are well shown.

In the x-ray photograph the cephalon with the lateral eyes (even with the facets visible) and eleven thoracic segments, are very distinct. The specimen is slightly laterally compressed so it appears to be exposed partly from the left side in ventral view. In the axial region the strong appendifers form ventral outgrowths in the articulating furrows at a distance from the axial furrows like $^1/_6$ the breadth of the axis. The appendifers are shown also in specimens figured by Broili (1930 pl. 22, fig. 1, 2, but they are not depicted in the drawing text-fig. 2).

The ventral structures are not so well exposed in the cephalic region where larger quantities of pyrite are precipitated. The elongate fragments below the glabella probably belong to the hypostoma. It occurs to me that the presumed "parasitic worm" described by Broili (1930) in the cephalic region of *Phacops* may also represent the outline of a distorted hypostoma.

Parts of the metastoma are evidently preserved beyond the hypostoma which covers (in ventral view) the anterior portion of the postoral plate. The metastoma resembles the structures described by Broili (1929). The anterior portion is not distinctly preserved, but the posterior portion has a subtrapetzoid outline with a postmedian process. Postlateral points are not visible. The metastoma covers the structures posterior to it, structures evidently belonging to the basal portion of cephalic limbs which, therefore, lie slightly dorsal to the posterior margin of the metastoma.

The distal portion of the right antenna is shown in the x-ray photograph (pl. 12, fig. 2). The exposed portion of the flexible uniramous appendage has a length corresponding to the length of the cephalon and about 28 short annulations may be counted. In *Asteropyge* the antennæ was $^2/_3$ the length of the body.

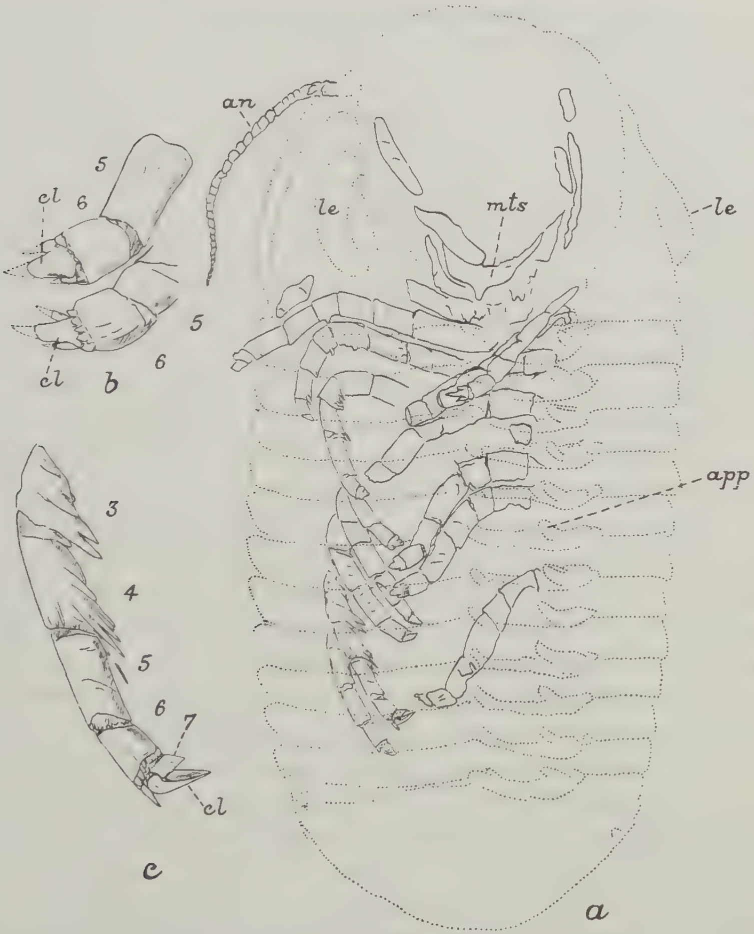


Fig. 26. Appendages of *Phacops* sp., Lower Devonian, $^4/_3 \times$ and 3,7 $\times$. The drawing is based partly on x-ray photographs (pl. 12, fig. 2) of the specimen No. A 24413 Coll. Pal. Mus. Oslo. Structures of the dorsal shell are marked with dotted lines. The posterior appendages are not depicted. b, c show details of distal portion of telopodites. 3—7 = segments of telopodite, *an* = antenna, *app* = appendifer, *cl* = distal claw, *le* = lateral eye, *mts* = metastoma.

Of the cephalic limbs only traces of the two posterior pairs are preserved. The basal portion of the supposed third limb is shown on the right side behind the metastoma. It seems to have been directed forwards not outwards like the last cephalic limb of which the proximal and distal portions are exposed on the right side.

Apparently the distal five (?) segments on the left side also belong to the last pair of cephalic appendages. Since the appendages are often strongly curved, it is difficult to figure their point of attachment when the proximal portion of the appendage is not preserved. In the specimen first described by Broili (1929) it is difficult to establish the exact number of cephalic limbs, but it is hardly more than two pairs of the larger limbs preserved.

The two posterior pairs of cephalic appendages in the present specimen evidently correspond to the axial processes of the well-marked posterior glabellar furrows and the similar pits in the occipital furrow. As pointed out by Öpik (1937 p. 84) the two frontal pairs of cephalic limbs may have been smaller and more delicate since they lack stronger axial processes.

The thoracic appendages. The telopodites are well exposed and the preservation permits a study of many finer details. The preepipodites known in specimens described by Broili, are not exposed. The telopodites are preserved in a characteristic way known in earlier specimens of *Phacops* and *Asteropyge* and also in specimens of *Cryptolithus*: The distal half of the legs are bent inwards and backwards so that this part of the legs in life was evidently directed downwards and slightly backwards except in the anterior portion of the body where the appendages were spread out in a more radial arrangement round the mouth region.

In the present specimen the powerful walking legs may be studied in full length. Although the preservation demonstrates many minute details, it is difficult to trace the different joint-lines separating the segments of the telopodites. Often crossing fissures may be mistaken for real joint-lines and only a careful study of each appendage may distinguish the accurate outline and position of the joints. Text-fig. 26 shows the outline of most of the preserved thoracic appendages. With regard to the shape and size of the different segments, the appendages are mutually quite alike. The elongate telopodites diminish but slightly towards the distal claw and the proximal segments have a width about ²/₃ the width of the pleurotergites. In outstretched position, the three distal segments extend outside the lateral borders of the tergites. Broili mentions (1929 p. 77) that the telopodites seem to be attached below the pleurotergites, but the present specimen shows that the limbs were attached below the appendifers just as in other known trilobite species. The two anterior thoracic appendages on the right side, especially the first one, may be traced even further than the corresponding appendifer. The proximal portion of the limb is only shown in outline so it is not possible to decide the presence of a precoxa. The elongate basal portion of the limb, the probable precoxa and coxa, have a length equal to the two following segments together. The first and second telopodite segments have a parallelogramatic to rectangular outline and are provided with small spines. The third segment, occurring at the strongest bend of the telopodite, differs from the proximal ones in being considerably shorter, and the outline appears trapezoidal, but this is chiefly due to the partial covering by the second segment on the ventral side. This and the following fourth segment are provided with bunches of spines with a ventro-distal direction. As shown in text-fig. 26 c, the spines are not only attached along the ventral border as the compressed specimens of *Neolenus* may suggest, but originate along the sides. The fourth and fifth segments are of equal length and have a row of denticles along the distal margin. The fourth and fifth segments are rectangular to parallelogramatic in outline, the latter somewhat more narrow and apparently without powerful ventral spines. The sixth segment is well exposed in several of the appendages preserved and in text-fig. 26 b, c this and the terminal seventh segment may be studied in greater detail. The sixth segment, seen in dorsal view (b), is much shorter than the fifth and has a nearly quadratic outline. In more lateral view (c) the segment is more trapetzoid, with the dorsal margin longer than the ventral, the width increasing distally towards the concave joint-line. Along the distal joint-line the segment is provided with a row of distinct flat, blunt scales or denticles.

As in *Neolenus* and *Triarthrus*, the limb has a tripartite distal portion. In the present specimen, three diverging spines are indicated on the last cephalic appendages on the left side, and on the fifth and sixth thoracic appendages which are magnified on text-fig. 26 b. A stronger median claw and two smaller and more narrow lateral spines, form the terminal portion of the telopodite. The strong median claw has a broader basal portion. An unique preservation is found in the sixth appendage on the right side (c). The main claw and one of the spines are preserved in lateral view. The claw is broader than thick and the ventral surface seems slightly concave. The claw did not articulate directly to the sixth segment; a curved basal portion articulated to a basal plate of a more rhombic outline. Similar structures are apparently found in recent arachnids where distal claws articulate to a small talon or pseudonychium, forming the true distal segment (p. 249). The found structures show that the distal claw in the trilobite telopodite evidently belongs to a separate seventh segment.

The powerful distal claw with its concave ventral surface, probably served as a useful digging organ and, by bending the claw towards the basal plate, it may even have served as an imperfect chela.

The telopodites of the pygidium are only partly preserved (not depicted in the drawing text-fig. 26 a), but they seem to have been like those of the thorax, but the segments are shorter and perhaps more spiniferous. Endites are present in the posterior part of the body.

As shown by Broili, the preepipodites were located above the telopodites and certain specimens demonstrate the considerable length of the gill-blades which were probably attached to a slender shaft.

The structures found in *Phacops* and *Asteropyge* are quite similar to those found in Cambrian and Ordovician trilobites and thus point out the conservatism of the trilobite appendage as pointed out by Raymond (1929).

General Structure of Trilobite Appendage.

The preceeding descriptions and discussions allow us to draw several new conclusions with regard to the structures of the thoracic limbs. The material at hand comprises a number of different genera (text-fig. 27) from three geological formations and thus is able to give a good impression of the trilobite appendage in general, apart from the special generic characters.

The attachment of the appendage. The limb was attached to the ventral integument below the lateral 1/4 of the axis. The actual area is only demonstrated in *Ceraurus*, but the preserved structures in other genera (*Neolenus*, *Triarthrus* and *Phacops*) indicate the same conditions. The appendages were attached in the anterior half of each thoracic segment, evidently in relation to the appendifers to which the basal segment of the limbs were connected by muscles.

The precoxa. Specimens of *Ceraurus* have demonstrated the presence of a short extra segment — a precoxa — between the ventral integument and the coxa. Since the same structures are indicated in the better known genera *Neolenus*, *Triarthrus* and possibly *Cryptolithus*, it is highly probable that the precoxa is characteristic of the trilobite legs.

The coxa. The second segment has a triangular outline and is prominent in all species except in *Cryptolithus*. The shape and articulation of the segment in *Ceraurus* show that it represents a coxa and not a trochanter (or basipodite). The present studies have shown that a basendite is but feebly developed in the trilobite coxa. The basendite does not form an elongate median lobe, but has the same general characteristics as the endites of the telopodite, only that the basendite is directed more medially.

The telopodite. The walking leg, forming the ventral or median branch of the biramous trilobite appendage, consists of seven segments, the last one represented by the distal claw evidently articulated to a short basal plate. The six proximal segments are sub-cylindrical with somewhat flattened sides, and the ventral margin often embossed into triangular endites. The endites occur on the two to four (in the posterier legs even more) proximal segments, and are provided with spines or bristles which, however, also may be distributed on the flattened sides of the segments and on the distal margin. In certain genera (*Neolenus* and *Cryptolithus*), it is significant how the endites and especially their bristles change from ventro-lateral into more median directions from the distal segments of the telopodite towards the median margin of the coxa, indicating a common nature of all these segments. The telopodite tapers gradually in width towards the distal point. The six tubular segments are mutually much alike, but the fifth and sixth often more slender and the sixth is decidedly shorter than the others. In certain genera a shorter third segment is more or less conspicuous. The telopodites were kept outstretched or more or less curved with the distal portions evidently in a postventral direction. A special knee is not significant, but, as a general rule, the main flection is found between the third and fourth segments. In *Phacops* and to some extent in *Triarthrus*, the third segment forms some kind of a "patella", but in *Cryptolithus* rather the fourth segment forms the knee. It is possible that the comparatively broad trilobites (e. g. *Cryptolithus*) were more "broad-gauged" than the more narrow forms and that a special knee had not become a fixed character among the trilobites.

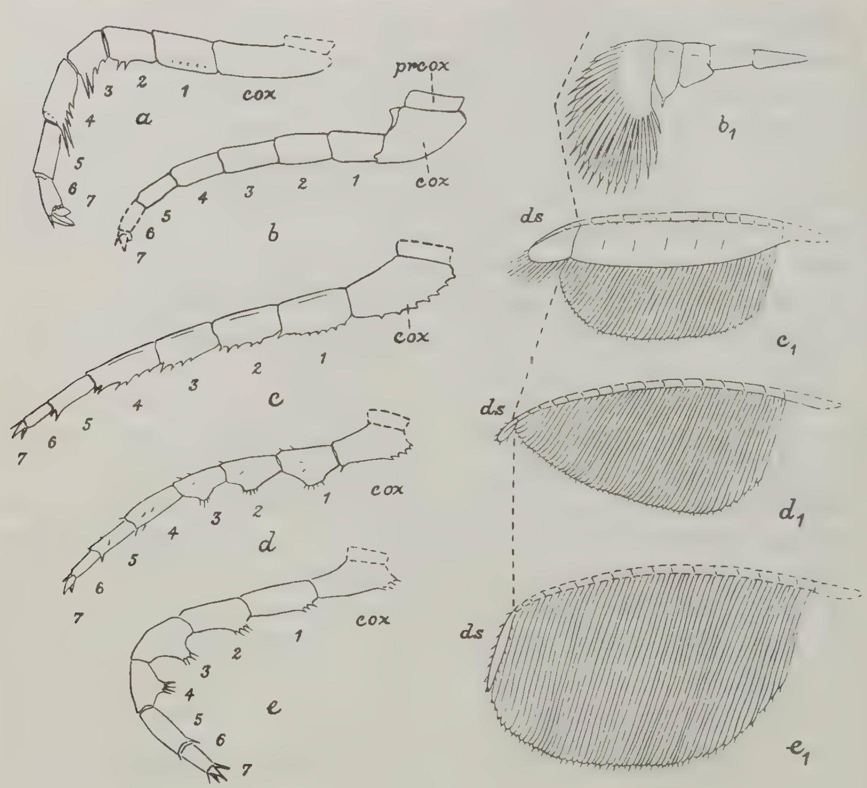


Fig. 27. Uniformity of trilobite appendages. Basal segments with telopodite to the left and preepipodite to the right. a = *Phacops* (Devonian), b—b_1 = *Ceraurus* (Ordovician), c—c_1 = *Neolenus* (Cambrian), d—d_1 = *Triarthrus* (Ordovician), e—e_1 = *Cryptolithus* (Ordovician). 1—7 = segments of telopodite, *cox* = coxa, *ds* = distal segment of preepipodite, *prcox* = precoxa.

The preepipodite. The dorsal or lateral branch — the gill branch — of the limb, is especially characteristic of the trilobite appendage. As a general rule, the preepipodite is considerably shorter than the telopodite and restricted to the space below the pleuræ. *Triarthrus* forms an exception in this respect in having long gill-appendages extending beyond the lateral borders of the thorax.

The study of *Ceraurus* has shown that the preepipodite was attached to the precoxa. Since this condition is also indicated in *Triarthrus*, it was probably the case in other less satisfactorily preserved trilobites. The gill branch comprises an elongate shaft to which a fringe of filaments or gill-blades was attached. As shown in text-fig. 27, all the better-known genera have the shaft divided into numerous subsegments. The elongate shaft is narrow and annulate in certain (later?) genera (*Triarthrus*, *Cryptolithus*, *Phacops* and *Asteropyge*) and broad lobe-like in other (earlier?) genera (*Neolenus*, *Kootenia* and *Ceraurus*). In the two broad-shafted genera *Neolenus* and *Kootenia*, an anterior ridge contains numerous subsegments and thus seems to be homologous with the narrow shaft in the other group. An anterior ridge is also indicated in the shaft of *Ceraurus*, but here the whole width of the shaft is divided by a few distinct joints possibly comparable with the faint crossing lines in the shaft of *Kootenia*.

An important common characteristic is the presence of an extra distal segment (*ds*) which may be distinguished in all genera except *Ceraurus*. The distal spoon-shaped segment had an anterior rim forming a continuation of the annulated rim on the main shaft. The distal segment bears no gill-blades, but is provided with thin bristles or setæ.

The posterior border of the main shaft carries a broad fringe of blade-shaped filaments. *Ceraurus* deviates from the other known genera (*Neolenus*, *Kootenia*, *Ptychoparia*, *Triarthrus* and *Cryptolithus*) in having filaments only on the distal segment (evidently not homologous with the distal segment in the other genera). The blade-shaped filaments which are quite similar in all genera, are inserted in the shaft, like the teeth in a comb, with the broad sides facing each other. The gill-blades have in better preserved specimens a cylindrical bristle at their blunt ends. The preepipodites are found to have their filaments directed backwards with the posterior margin covered (in ventral view) by the following preepipodite, but certain specimens of *Ceraurus* and one of *Cryptolithus* indicate that the fringes might be turned forwards as in many specimens of *Marrella* described below.

The present brief review has shown that in spite of systematic differences, the thoracic appendages of the known trilobite genera exhibit the same general plan of construction and are closely similar with regard to the most characteristic structures.

The uniformity in the fundamental structures allow us to speak of a "trilobite limb" as a constant and charateristic type of an arthropod appendage. The conservatism of the "trilobite limb" is evident from the fact that it is found in species from Middle Cambrian, Ordovician and Lower Devonian, thus ranging through a space of time amounting to some 100—150 million years.

Function of Trilobite Appendage.

Considering the functions of the appendages, it seems useful to deal separately with the coxal portion, the telopodite and the preepipodite.

The coxal portion. The precoxa served as a basal segment permitting considerable movement forwards and backwards. The coxa had a similar movement and formed a solid base of the free walking leg or telopodite. In earlier reconstructions the coxa always carried a long median endite provided with spines. This led several authors to regard the basendites as comparable with the endites of the branchiopod crustaceans, and thus being capable of carrying the food forwards towards the mouth. The present studies have shown that the coxa had no prominent endite and therefore evidently had no such functions. The main function of the coxa was evidently to furnish a firm base of the telopodite and with its flat postlateral lobe to protect the basal portion of the preepipodite.

The telopodite. Its primary function was as a walking leg applied when the trilobite crawled on the bottom. Raymond (1920 p. 71) also suggested swimming and burrowing functions and the ability of gathering food. Recent studies on *Phacops* and *Asteropyge* and earlier investigations on *Cryptolithus* have demonstrated that the telopodites in several cases are strongly curved so that their distal portions are directed ventro-medially and slightly backwards. The present studies on *Ceraurus* have shown quite clearly that the two branches of the biramous trilobite limb are not acting together as has been previously presumed, but have independent functions. Concerning the swimming it is probable that the telopodites were important organs also for this purpose. By rhythmic strokes of the curved telopodites the trilobite might have been able to swim, evidently on its back (comp. Størmer 1934 p. 64). The characteristic triangular setiferous endites, found especially in the posterior appendages of many trilobites, probably were adaptions for swimming. That the endites were not organs for digging or crawling, is shown by their presence in typical planktonic forms such as *Marrella* (Walcott 1931).

A digging function has been deduced from the general conception that certain trilobites such as *Cryptolithus*, were burrowing forms. The burrowing habitat of the trinucleids is, however, less probable (Størmer 1930), but, on the other hand, the digging function of the trilobite telopodite is expressed in the spatulate distal claw of *Phacops* (text-fig. 26), a claw which probably was well adapted to digging in the mud and sand just like the flat spines of the hind legs of *Limulus*.

The primary function of the trilobite telopodite was that of walking and crawling, but, at the same time, it served as a useful swimming and digging organ.

The preepipodite. Already in his earlier description of the slides of *Ceraurus* and *Calymene*, Walcott (1881) tried to explain the peculiar filamentous appendages indicated in the sections. Although little real information was obtained on the structures of these appendages, he interpreted the filaments as belonging to branchial appendages. Beecher (1896 p. 255) states, from his studies on *Triarthrus* and *Cryptolithus*, with some reservation, that the preepipodites (exopodites) were made up of lamellar elements presenting "a large surface to the external medium and, partook of the nature of gills". Walcott (1918 p. 164) is also somewhat in doubt concerning the branchial function of the filaments, but Raymond (1920 p. 70) says: "the chief function was that of acting as gills, for which the numerous thin flattened or blade-like setæ are particularly adapted". Richter (1926 p. 310) referred a branchial function only to the thin membrane below the pleuræ and possibly to soft outgrowth on the legs just as in many crustaceans.

Both Beecher, Walcott and Richter, regarded the preepipodite as a swimming organ homologous with the swimming-branch (exopodite) of the typical biramous crustacean limb. Raymond (l. c. 71, 76) objected, however, to this interpretation and pointed out that the mutual position of succeeding preepipodites prevents free swimming movements of the filamentous fringes. Specimens of *Neolenus*, in particular, show that the preepipodites could hardly be used in the same way as the leaf-like appendages of branchiopods, *Limulus*-larvæ and eurypterids (comp.the reconstructions, text-figs.20, 23, 25 and pl. 11).

(A forward direction of the gill-blades in certain trilobite specimens, e. g. Ser. C. of *Ceraurus*, indicates, however, that the preepipodite, were able to considerable movements also round its axis.)

From studies on branchiopods Storch (1925, 1926) arrived at the conclusion that the trilobites were closely related to these crustaceans. He recognized in the filamentous preepipodites of trilobites the setiferous branchiopod appendage serving as a special catching filter in the living forms. A difficulty, however, was that in the branchiopod it is the endopodite, the median branch, that has this function. This difficulty was avoided by assuming that the trilobite limbs in the preserved specimens had been turned 180° so that the presumed endo- and exopodites had been confused. This opinion was severely criticized by Richter (1926), but Storch maintains his view in a later paper (1926) forming an answer to Richters criticism. It is therefore necessary to present certain additional points which clearly show that the hypothesis of Storch cannot be maintained. During my stay in U. S. A. I had the opportunity of studying the described limb-bearing trilobite specimens. Several specimens of *Neolenus*, e. g. the one figured by Walcott 1918 pl. 23 and specimen No. A 5128 of the Paleont. Museum Oslo Coll. (text-fig. 17), show that the preepipodites ("exopodites") lie dorsal to the telopodites ("endopodites") and occupy a space below the ventral membrane of the pleuræ. Concerning the specimen with the "epipodites" (Walcott 1921 pl. 92), which Storch mentions in favour of his view, it is obvious that this specimen has been preserved in an unusual position as mentioned above (p. 200). Finally, the present studies on *Ceraurus* have clearly demonstrated the latero-dorsal position of the gill-branch and, at the same time, have shown that this appendage is not part of a biramous appendage in the crustacean sense of the word. Although the preepipodite might turn considerably round its axis, the elongate basal joints did not permit a rotation of the basal portion of the appendages round a vertical axis.

An interesting discussion on the function of the trilobite limb was given recently by Eriksson (1934) in a paper on the catching organs of branchiopods. Eriksson objects to Storch's interpretation of the trilobite appendage, but he agrees that the trilobite had special catching organs (filters) for securing small food particles in the water. He considers a normal position of the appendages and finds that a "sucking chamber" was formed between the preepipodites and the ventral membrane of the pleuræ. The chamber was closed laterally by the distal segment in vertical position. The water was supposed to enter between the coxæ and to disappear through the lamellæ of the fringe. The forward transport of the filtered particles is less clear, but is thought to be accomplished by the presumed elongate and spiniferous basendites during the backward strokes of the appendages.

From what is mentioned, it appears that three different functions may be considered in connection with the preepipodites: a swimming, branchial and catching function.

Concerning the swimming function, only *Triarthrus* has the preepipodites freely exposed outside the thorax (text-fig. 23). As pointed out by Raymond (but not shown in his reconstruction) the posterior margin of the fringes are in *Neolenus* concealed in ventral view and this position may probably have been characteristic also of the other trilobite genera as indicated in the reconstructions in the present paper (text-figs. 20, 23, 25 and pl. 11). In accordance with Raymond I therefore find it less probable that the preepipodites to any great extent were used as swimming organs. The chief swimming function was probably accomplished by the telopodites as mentioned above.

A branchial function of the blade-shaped filaments seems very likely from a closer study of their structures. The partly flexible nature of the lamellæ, mentioned in the descriptions of the respective genera, shows that the filaments hardly were too stiff and thick-shelled to represent gills. As pointed out by Beecher, the shape and size of the blade-shaped filaments furnish a large surface to the external medium and therefore might have been well suited for a respiratory function. The position also points in this direction. Below the pleuræ the gills would be well protected and at the same time the water might pass along the filaments.

A special arrangement of the preepipodites suggests that the water might be forced through the comb-shaped fringe. As mentioned by Eriksson (l. c) a "sucking chamber" might be formed between the preepipodites and the ventral membrane. The distal segments, which had no filament, would be kept in more vertical position against the ventral membrane serving as an operculum which closed the chamber laterally (text-fig. 28). Ventrally, the appendages overlap each other backwards allowing the water to pass only through the fringe. Medially the preepipodite was attached so close to the ventral

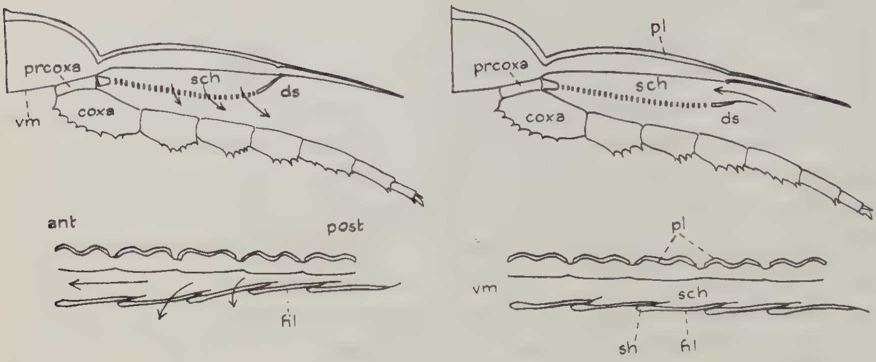


Fig. 28. Possible circulation of water through and above the gill-blades (filaments) in a trilobite preepipodite. The "sucking chamber" (*sch*) above the gills might be closed by the "opercular" distal segment (*ds*). By a rhythmic elevation of the preepipodites the water might partly have been pressed through the gills and partly driven forwards. A water current might thus have been able to transport filtered food-particles forward to the mouth. *pl*=pleura, *sh*=shaft of preepipodite, *vm*=ventral membrane.

membrane that hardly any opening remained at least in genera like *Neolenus*, *Triarthrus*, *Cryptolithus*, *Phacops* (?) and *Calymene* where the filaments occur also near the base of the appendage. In *Ceraurus*, the conditions are somewhat different since the filaments are found only on the fifth, last segment, and no typical distal segment was present. The same result might, however, have been obtained when the appendage was kept slightly curved backwards so that the filaments formed the latero-ventral floor and the prominent lobes of the shaft served as the medio-ventral wall.

By lowering the appendage and keeping the lateral portion in contact with the ventral membrane of the pleura, the water would be sucked in through the fringe between the blade-shaped filaments. On the other hand the "sucking chamber" might be filled from the sides, before it was closed (text-fig. 28), and after the closure the water might be forced out through the fringe by raising the appendage towards the membrane above.

The structure and position of the preepipodites indicate strongly that they served as respiratory organs.

Compared with other aquatic arthropods it appears that the ancient trilobites, as well as several other groups e. g. Marrellina, possessed a greater amount of gills, than recent arthropods such as e. g. the Crustacea. The greater number and larger size of the gills in the ancient forms might indicate a smaller amount of oxygen in the sea of the early Paleozoic, a feature also indicated in the presence of the many black shales.

A catching function of the preepipodites is not unlikely in relation to the "sucking chamber" indicated in the structures and pointed out by Eriksson. By vertical movements of the preepipodites such as mentioned above, the comb-shaped fringe of filaments would serve as a filter retaining the particles which were unable to pass through the filter formed by the close set lamellæ. But how were the particles transported to the mouth? The present knowledge of the coxæ denies the presence of elongate basendites capable of particle-transport. The circumstance that the preepipodite was attached at the very base of the appendage shows that hardly any amount of particles was driven into the median area below the axis. A catching apparatus in the branchiopod sense was therefore hardly present. A forward drift of the particles might, however, have taken place in the pleural region in a manner suggested in text-fig. 28. If the "sucking chamber" was contracted in an undulating way, so that the posterior portion of the body was contracted first, a current of water containing the filtered particles was driven forwards to the "atrium oris". The radial arrangement of the preepipodites in the cephalon might correspond to a turning of the watercurrent towards the mouth at the centre of the cephalon.

In *Marrella* and *Waptia* from the Burgess Shale, no distinct pleuræ were present although they possess typicai trilobite preepipodites. This shows that a catching function was not necessarily connected with a preepipodite of the trilobite type. The general structures in trilobites, however, indicate that a catching function, with the fringe of filaments serving as filters, might have been accomplished by the preepipodites in trilobites.

The Trilobite Limb Compared with Appendages of Other Arthropods.

Lower Paleozoic Arthropods.

I. Arthropods of the Middle Cambrian Burgess Shale. Walcott's wonderful find of excellently preserved invertebrates in these old beds has presented to paleontology a most unexpected picture of the early arthropod groups associating the trilobite faunas. The fossil material seems to be able to elucidate several important points in the early evolution of the arthropod stem or stems.

The preservation of the fossils is mentioned under the description of the *Neolenus* appendages. Although the preservation permits a detailed study of the most minute structures of the delicate chitinous tests, the interpretation of the structures has often been very difficult because the fossils are completely compressed and appear only as flat glisthening films in the shale. In studying the Burgess Shale arthropods, one has to be familiar with fossil preservation and at the same time to have a sufficient detailed knowledge to the construction of recent arthropods. Although a series of papers dealing with the Burgess arthropods have been published (see below), a great amount remains to be done. New detailed descriptions and discussions of specimens, not only in American, but also in foreign collections, may certainly present very valuable additional knowledge of these interesting arthropod groups.

The arthropods with appendages preserved, were described by Walcott in two papers from 1911 and 1912 and in a posthumous paper in 1931 edited by Resser. Resser (1929) describes one limb-bearing specimen of *Protocaris*. Hutchinson (1930) presents new studies of *Opabinia* and Ruedemann (1931) describes a new presumed pelagic crustacean *Marria* and gives a new interpretation of *Marrella*. Recently, Raymond (1935) delivered new descriptions of *Leanchoilia* based partly on new specimens collected on a new expedition, under his leadership, to the original locality.

Walcott's classification of the different arthropods were commented and criticized by Raymond (1920, 1935), Versluys and Demoll (1922), Fedotov (1924), Warburg (1925), Henriksen (1928), Ivanov (1933) and Størmer (1933). The different opinions will not be discussed in the present paper, but will be touched upon in a future paper discussing the relationship and phylogeny of the different groups. In the present paper, only the structure of the thoracic appendages will be considered.

Besides the trilobites about sixteen arthropod genera with preserved appendages are known from the Burgess Shale. During my stay in the United States I had the opportunity to study Walcott's collections and, in addition, I have examined specimens in the Paleontological Museum in Oslo.

When we attempt to obtain a definite conception of the peculiar and apparently very different arthropods, it seems necessary to keep in view the general characteristic features common to several genera, rather than to point out certain specialized structures which deviate from the general plan of construction. Among such marine arthropods one would expect to find both convergent structures due to common adaptions, and at the same time conservative structures more or less independent of external changes.

It seems useful to divide the occurring genera, provisionally into two main groups based on the development of the dorsal test and to some extent also on the size.

Group I. Small, medium-sized and larger forms with an expanded, subovate, generally trilobed dorsal test; tergites free, or fused; telson generally present, triangular, styliform or fin-shaped. Benthonic and nectonic forms.

Group II. Small forms with cephalic shield developed into a "carapace"; post-cephalic portion narrow without pleuræ; telson small, lobe-shaped or styliform. Pelagic and nectonic forms.

The first group includes most of the genera. *Sidneya*, *Amiella* (if not identical with the former) and *Helmetia* measured about 120 mm and 165 mm in length and were thus considerably larger than the others (text-fig. 29 a, b). For mutual comparison the average length of the following genera is given without telson: *Emeraldella* 40 mm, *Leanchoilia* 50 mm, *Bidentia* 45 mm, *Opabinia* 55 mm, *Habelia* 17,5 mm, *Molaria* 12—25 mm and *Yohoia* 22 mm. The genera mentioned were apparently typical members of the group. In *Naraoia* (30 mm) the thoracic-abdominal tergites were fused into one shield (in *Helmetia* the last tergites probably were ankylosed into a pygidium).

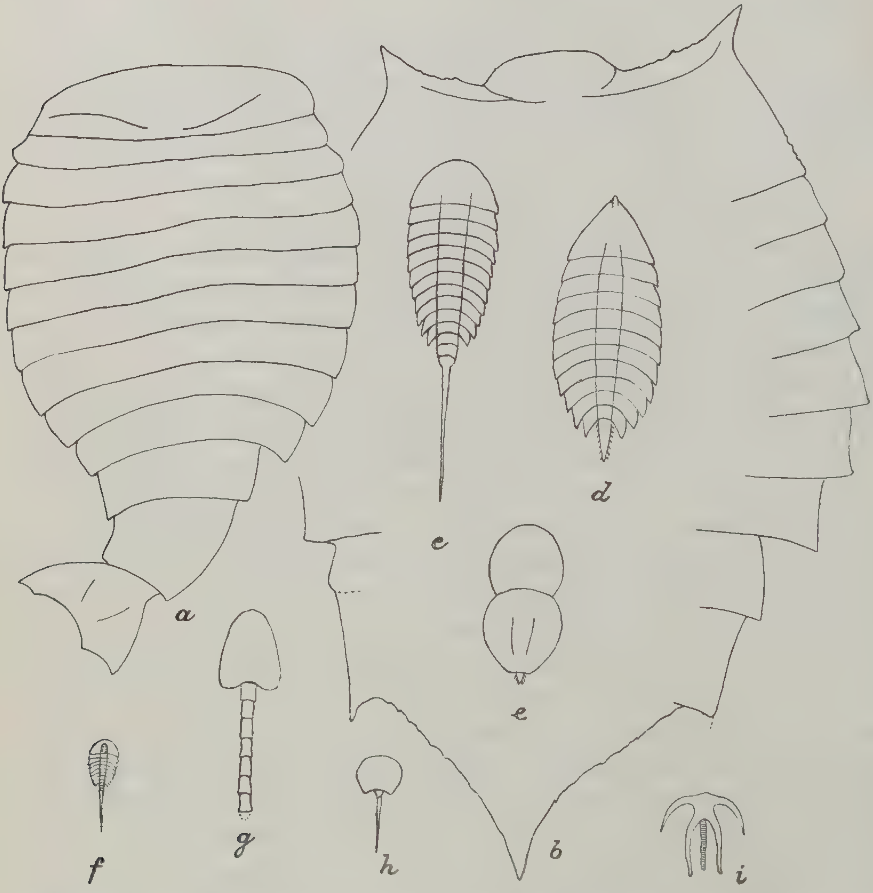


Fig. 29. Middle Cambrian Arthropoda from Burgess Shale, Canada. Dorsal shell without appendages. All ²/₃ ×. a = *Sidneya inexpectans* Walcott, b = *Helmetia expansa* Walcott, c = *Emeraldella brooki* Walcott, d = *Leanchoilia superlata* Walcott, e = *Naraoia compacta* Walcott, f = *Molaria spinifera* Walcott, g = *Waptia fieldensis* Walcott, h = *Burgessia bella* Walcott, i = *Marrella splendens* Walcott. a, b outlined after photographs published by Walcott, c—i reconstructions based mainly on Walcott's illustrations.

Walcott (1912) referred the genera *Molaria*, *Habelia*, *Emeraldella* and *Sidneya* to the Merostomata, and Henriksen (1928) also included *Leanchoilia* in this group. Text-fig. 29 a—f show the dorsal tests of different groups in order to demonstrate the general merostome type of several genera. At present we know more about the Xiphosura and Eurypterida comprising the Merostomata. Especially among the older group of the Xiphosura, the Synziphosura (Størmer 1934 b), we find many features in common with the mentioned arthropods from the Middle Cambrian. Besides *Aglaspis* (Whitfield 1882) such genera as *Beckwithia* (Resser 1931), *Pseudoniscus* (Ruedemann 1916) and *Weinbergina* (R. u. E. Richter 1929) show considerable resemblance to *Leanchoilia* concerning the dorsal test. In the Cambrian arthropods the number of free segments varies, while among the typical Synziphosura (to which at least the two last-mentioned genera belong) the number of abdominal segments apparently has become fixed (Størmer l. c.), although indications of extra segments are found round the telopore in the recent *Limulus* according to Ivanov (1933). Several Synziphosura such as *Hemiaspis* and *Bunodes* have a postabdomen (not post-anal) which lack pleuræ and thus correspond to the structures found in *Sidneya*, *Molaria*, and *Emeraldella*. The telson of the typical Synziphosura is lanceolate and in *Beckwithia* triangular. Only among the Eurypterida has a more elaborate differentiation of the telson taken place. The tail-rudder in *Pterygotus* resembles the telson of *Sidneya*, the "tail-fin" was probably formed by the telson alone rather than by telson together with cerci as mentioned by Henriksen (1928 p. 18)).

Naraoia (text-fig. 29 e) has a small triangular telson and the abdominal shield may be compared (Walcott 1931) with the younger order of the Xiphosura, the Limulida, in which the abdominal segments are fused into one continuous shield. (*Helmetia Mollisonia* and *Tontoia* had apparently the posterior segments fused into a pygidum indicating trilobite-like structures.)

It appears that the genera referred to the first group had several characteristic in common with the Xiphosura and also possessed several morphlogical "tendencies" characteristic of both Xiphosura and Eurypterida comprising the Merostomata.

The second group includes the more bizarre, free-zwimming forms: *Marrella* (16 mm), *Burgessia* (20 mm, 8 mm without telson), *Waptia* (30—40 mm), ? *Protocaris* (70 mm) and *Hymenocaris* (45 mm). Except *Marrella*, which Walcott regarded as a trilobite, these forms resemble crustaceans and have been classified as such.

Marrella, the "lace crab", is a most extraordinary form which occurred in great quantities in the shale. With its four flat horns (text-fig. 29 i) it was well adapted to a pelagic mode of life. A correct reconstruction and interpretation of the horns is given in Walcott's last paper (1931). In his earlier paper (1912) he interpreted the frontal horns as antennæ, and Ruedemann (1931) even thought that the horns represented portions of the cephalon of a freshly moulted specimen of the trilobite *Neolenus*, an assumption which cannot be maintained since the structures are so constant and the margins of the horns bear a characteristic denticulation. Fedotov (1924 p. 388) suggested that *Marrella* possessed a thin carapace, but this view was based on one specimen which was not correctly figured and interpreted in Walcott's first paper (comp. Walcott 1931 p. 34). It is not quite clear whether the pleuræ were completely absent as demonstrated in most reconstructions, or a narrow pleural portion was present as suggested in the reconstruction of Beurlen (1930).

The other genera had a carapace of the type found in most crustaceans. As pointed out by Walcott (1912 p. 157), we might roughly trace a line of increasing carapace-development through genera such as *Burgessia*, — *Waptia* — *Protocaris* and *Hymenocaris*.

Thoracic appendages are known in all the mentioned genera, but in most cases our knowledge is very limited. In his last paper Walcott (1931) gives more detailed descriptions of the limbs of *Naraoia*, *Burgessia*, *Waptia* and *Marrella* and new contributions are also given in Raymond's last paper (1935). The following descriptions are based on published descriptions and illustrations and also on personal studies of the arthropod specimens (Størmer 1933).

In *Marrella*, the thoracic appendages are known in greatest detail. As shown by Walcott, the structures are very similar to those found in trilobites (text-fig. 30 a). The coxa, which evidently lacked a basendite, was found to be attached at the ventro-lateral portion of the narrow thorax which apparently had no pleuræ. The telopodite had six slender or triangular segments and a distal curved claw flanked by two spines. The frontal telopodites had no endites, but backwards they appear and increase in size and number towards the telson (or pygidium). Their distribution, triangular shape and distal tufts of setæ are quite like those found in Trilobites e. g. *Triarthrus*.

The dorsal branch, the preepipodite (exopodite) was, according to Walcott, attached about midway along the length of the coxa (not at its distal end as was generally assumed for the corresponding trilobite appendage). The appendage consists of a proximal segment "to which is attached a long, slender, multi-articulate appendage, each segment of which supports a long, slender, flat (formerly round)

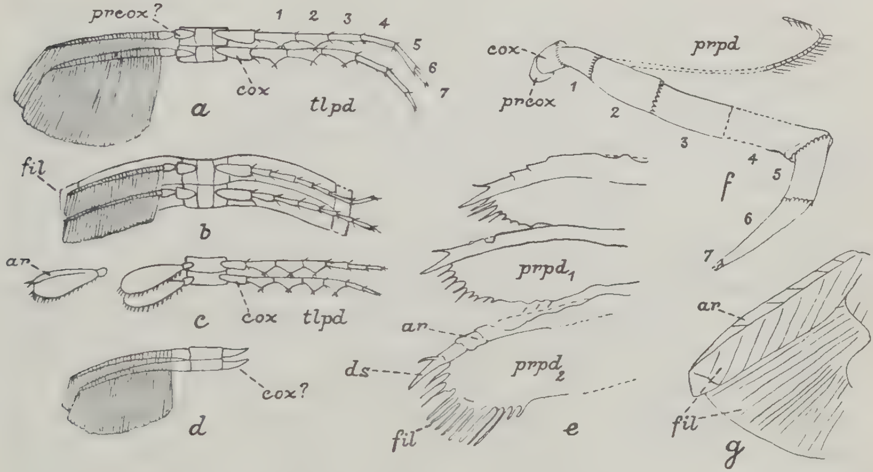


Fig. 30. Trilobitan appendages of Lower Paleozoic Arthropoda. All from Middle Cambrian Burgess Shale, Canada, except f which is from Lower Devonian Huhnsrücken Shale, Germany. a = *Marrella splendens* Walcott, b = *Naraoia compacte* Walcott, c = *Burgessia bella* Walcott, d = *Waptia fieldensis* Walcott, e = *Leanchoilia superlata* Walcott, f = *Cheloniellon calmani* Broili, g *Sidneya inexpectans* Walcott. a—d, g after Walcott (extra preepipodite in c added after Walcott's description), e drawn after specimen No. A 5116 Coll. Pal. Mus. Oslo (pl. 12 fig. 3), f after Broili. 1—7 = segments of telopodite, *ar* = anterior rim or ridge of preepipodite, *cox* = coxa, *ds* = distal segment of preepipodite, *fil* = filaments or gill-blades, *prcox* = precoxa, *prpd* = prepipodite, *tlpd* = telopodite.

filament". As Walcott points out, the fringes of filaments probably were directed backwards and outwards (as in trilobites) although they extend forwards and outwards in most specimens preserved (a position indicated in Raymond's reconstruction 1920 text-fig. 32).

In comparing the appendages of *Marrella* with those in trilobites, Walcott found great correspondence, but at the same time he found that *Marrella* differed in the mode of attachment of the coxa (coxopodite) and, in the absence of a basendite (gnathobase), on the coxa. The present studies of *Ceraurus*, however, have shown that these points cannot be regarded as differences. In *Ceraurus*, the coxa was attached at the corresponding place and a basendite was practically absent. And there is another important point which speaks in favour of a very close, if not complete, correspondence in the structures of the appendages in *Marrella* and the trilobites. Walcott (1931 p. 34) mentions that several specimens of Marrella "indicate the presence of a small oval flattened lobe attached to the dorsal side of the protopodite [coxa], or it may be to the proximal joint of the exopodite, but it may be that this appearance is caused by the manner in which the protopodite and the segments of the body are matted down together; some of the thin oval bodies, however, are so clearly defined that they suggest the presence of a small epipodite, but I do not consider the evidence sufficient to warrant representing them on the restoration of the thoracic limb". According to this description it seems very probable that the structure mentioned is identical with a precoxa. In fact, Walcott's statement of the preepipodite being attached about midway along the length of the coxa also indicates strongly the presence of a precoxa such as in *Ceraurus*.

On examining the specimens in Walcott's collection in Washington, I noticed that the blade-shaped filaments (Walcott regarded them as secondarily blade-shaped) of the preepipodite were often slightly curved and seemed to be inserted in a groove in the shaft. In one specimen (labelled 18 I) the shaft seems to have a distal segment without filaments, but provided with fine spines or setæ just as in trilobites. This was, however not observable in other specimens. The present studies thus strongly confirm the general conception that the thoracic appendage of *Marrella* was identical with the typical trilobite limb.

The thoracic appendages of the other Burgess Shale arthropods are not so well-known and will therefore be treated more briefly. Among the genera included in the first group, the large forms, *Sidneya*, *Amiella* (Walcott 1912) and *Helmetia* (Walcott 1931 pl. 23), have distinct filamentous appendages below the broad tergites. The appendage seems to be essentially similar to the preepipodite in trilobites and *Marrella*. Text-fig. 30 g, redrawn from one of Walcott's photographs of *Sidneya*, shows that the preepipodites had a narrow multiarticulate shaft in which the joint-lines cross at an oblique angle just as in *Triarthrus* (comp. text-fig. 22). In the mentioned forms the preepipodites are directed backwards and outwards just as in trilobites. It is of considerable importance to notice that no telopodites seem to be present in the thoraco-abdominal portion of the body. Only the filamentous branches are found below the broad tergites.

Emeraldella (Walcott 1912 pl. 30 fig. 2, text-fig. 8, 10) had typical trilobitan appendages with both telepodites and preepipodites (gill-blades distinct in a specimen marked 25 I) present in the thoracic region.

Leanchoilia (Walcott 1912 pl. 31 fig. 6; 1931 pl. 12, 13 fig. 2, 3) has been studied recently by Raymond (1935). As pointed out by Raymond, this form has typical trilobitan thoracic appendages with a lobe-shaped shaft of the preepipodite resembling the conditions in *Neolenus*.

A well-preserved specimen, belonging to the Paleontological Museum in Oslo, has been able to furnish new details concerning the structures of the appendages. The nearly complete specimen, shown on pl. 12 fig. 3, is exposed in dorso-lateral view. The rostrum is strongly curved and the lanceolate telson has short spines. Both the right and left "great appendages" of the cephalon are visible. I wish to point out that this type of appendages — with segments provided with long and powerful spines is also indicated in the cephalic appendages of *Sidneya* and, at the same time, a similar tendency in forming long spines in the prosomal appendages, is characteristic also of certain merostomes such as the eurypterid families Stylonuridae and Carcinosomidae. Theoretically, it would not be difficult to figure the origin of chelicera, the characteristic first appendages of the Chelicerata, from similar appendages in which a distal spine had become opposable towards a distal segment.

The figured specimen shows five well-preserved preepipodites of which the two first ones evidently belong to the cephalon (a small filamentous appendages in front of the first may represent the last segment but three). In text-fig. 30 e, three appendages are depicted from the photograph. Each flat, lobe-shaped appendage has a frontal ridge or rim evidently with a number of sub-segments. The rim extends beyond the base of the distal filaments and a distal segment (*ds*) may thus be distinguished although it is formed only by a solid distal spine provided with a smaller spine at the frontal margin. The filaments which are not so well preserved as to establish their blade-shaped nature, are found along the posterior and lateral margin of the broad shaft. The preepipodites of *Leanchoilia* are thus very similar to those of *Neolenus*. The lateral filaments and the rudimentary (?) distal segment may indicate an intermediate stage between *Neolenus* and *Ceraurus* (or *Calymene*?) Raymond states that telopodites (endopodites) certainly were present in the trunk of *Leanchoilia* although no specimens show them distinctly. The well-preserved specimen figured on pl. 12 fig. 3 shows no traces of walking legs. He mentions that specimen M. C. Z. 1843 has several tips or thoracic appendages which probably were telopodites (endopodites) because they end in spines different from the filaments. After the present study, however, it seems probable that these structures are identical with the distal segments of the preepipodites described above, and that the thoracic appendages apparently had no telopodites.

Bidentia (Walcott 1912 pl. 30 fig. 1) is little known, but the shape of telson and the "great appendage" suggest resemblance to *Leanchoilia*.

Opabinia (Walcott 1912 pl. 27 fig. 6, pl. 28) was restudied by Hutchinson (1930) but a more detailed account of the appendages was first given by Raymond (1935) who points out that they were trilobitan and similar to *Neolenus* though the telopodites were absent. According to his description the preepipodites (exopodites) below the pleuræ had a distal portion without filaments and an anterior margin which appears to be thickened just as in *Neolenus*. The appendages are thus closely similar to those of *Leanchoilia* which also had the same general shape of the abdomen and probably also lacked the telopodites.

Habelia (Walcott 1912 pl. 28 fig. 6) which is not well illustrated, evidently possessed telopodites and one specimen which I examined shows that the preepipodites formed broad lobes with filaments of the common trilobitan type.

Naraoia (Walcott 1912 pl. 28 fig. 3, 4; 1931 pl. 13 fig. 4, pl. 14 fig. 1—3, pl. 15 fig. 2, 3 and text-fig. 1, 2) had according to Walcott, appendages of the type found in *Marrella*, but pronounced endites were not present (text-fig. 30 b).

Burgessia (Walcott 1912 pl. 27 fig. 1—3, pl. 30 fig. 3, 4; 1931 pl. 15 fig. 4—7, pl. 16, pl. 17, pl. 18 fig. 1) was also treated in more detail in Walcott's last paper. Although the chitinous parts were very delicate in this minute form, it has been possible to demonstrate that the appendages were of the trilobitan type (text-fig. 30 c). The telopodites had typical endites, but the lobe-shaped shafts of the preepipodites have but short remains of the filaments preserved. It is interesting to substantiate that: "one specimen indicates that there may have been an anterior support for the exopodite that extended beyond the flat filamentous lobe and terminated in two minute spines"

(Walcott 1931), a condition which thus suggests a close resemblance to *Leanchoilia*, *Neolenus* and *Opabinia*.

Waptia (Walcott 1912 pl. 27 fig. 4, 5; 1931 pl. 18 fig. 2—5, pl. 19, 20, 21 fig. 2, 3), the very crustacean-like arthropod of the Burgess Shale, deviates according to Walcott's description, from the other genera in having two different kinds of postcephalic appendages (in addition to the specially modified cerci). The anterior five pairs were supposed to be jointed walking legs similar to the trilobitan telopodites, while the posterior eight pairs of thoracic appendages consisted of filamentous appendages quite similar to the trilobitan preepipodites. The published photographs, however, do not show this very well. On the contrary, they rather suggest that the mentioned telopodites belong to the cephalic appendages so that the preepipodites only, comprise the thoracic appendages. But, in any case, the telopodites were absent in the typical thoracic appendages (text-fig. 30 d). These appendages, being identical with the trilobite preepipodites, had a multi-jointed shaft tapering gradually towards the slender and flexible distal portion. One specimen of Walcott's collection (No. 83948) shows a distal portion of the shaft without filaments and thus suggesting a close correspondence to the structures in trilobites such as *Triarthrus*. Walcott (l. c. p. 23) points out that a wedge-shaped impression at the base of the filamentous appendages may be explained as a rudiment of the telopodites. In accordance with our present knowledge, it seems natural to regard the triangular bodies as rudements of the coxæ ventral to a precoxæ to which the preepipodites were evidently attached.

Protocaris and *Hymenocaris*, the typical carapace-bearing forms, probably also had trilobitan appendages. A specimen of *Protocaris* figured by Resser (1929) shows numerous appendages overlapping each other just as in trilobites, and Raymond (1935 p. 220) points out that the appendage of the anterior part of the trunk in *Hymenocaris* was distinctly trilobitan.

The appendage-bearing arthropods of the Middle Cambrian Burgess Shale have thus shown several common characteristics of considerable importance to the problem of arthropod phylogeny.

In a preliminary paper (Størmer 1933 p. 154), I pointed out the striking feature that all the arthropods of the Burgess Shale evidently had trilobitan appendages in spite of the fact that they were different in general appearance. I arrived at the conclusion that all the different genera belonged to the arachnid stock of arthropods rather than to the crustacean which they in many cases resembled very closely. I suggested that the old Cambrian arthropods occupied the habitats later taken over by the crustaceans and that the crustacean appearance, in form of carapace and trunk, therefore merely was a matter of convergence. Raymond (1935 p. 217) has recently also paid attention to the trilobitan appendages of the Middle Cambrian arthropods, but he derives the crustaceans from these archaic arthropods which he includes in one larger group the Homopoda. The present studies have confirmed my previous conception. Our knowledge of Middle Cambrian arthropods may be summed up in the following points:

1. All the different genera, both the large and the very small, both those with well-protected and those with free exposed limbs, had the same general type of appendages.
2. The appendages were essentially trilobitan even in their minor details and both the *Neolenus* and *Triarthrus* type of preepipodites were represented.
3. In certain genera the thoraco-abdominal telopodites were apparently quite reduced and in several cases the trilobitan appendages (except cerci) were absent in the abdominal region.

II. *Cheloniellon* and *Mimeaster* from the Lower Devonian of Bundenbach, Germany. In two papers, Broili (1932, 1933), describes the very interesting arthropod *Cheloniellon* which in many respects shows relationship to the Burgess Shale genera. The broad dorsal shield is constructed in the same general way as in *Leanchoilia*, *Helmetia* etc., the appendages especially being very similar. The thoracic appendage (text-fig. 30 f) is biramous, consisting of a walking leg and a slender gill-branch. Broili suggests that the small first segment represents a precoxa=subcoxa. The short second segment, the coxa, is not prominent as in trilobites, but the following six segments are closely similar to the corresponding segments or the trilobite appendage. The distal claw and spines are not clearly preserved. Remains of a slender multi-jointed appendage with filaments (blade-shape not demonstrated) evidently represent the preepipodite, although the attachment of the appendages is not demonstrated.

As shown by Broili, the specializes arthropod *Cheloniellon* have also maintained the trilobitan thoracic appendage.

The most extraordinary arthropod *Mimeaster* (the name was altered from the preoccupied *Mimaster*. Paleont. Zeitschr. Bd. 14) was described by Gürich (1931) from the Lower Devonian of Bundenbach, Germany. Besides the peculiar starfish-like cephalic disc, the arthropod had an elongate thorax-abdomen provided with numerous appendages. According to the published photographs (l. c. text-fig. 1 c, 4 b) the appendages may have been of the trilobitan type. Both a ventral walking leg (telopodite) and a dorsal gill-branch (preepipodite) are indicated and the attachment and direction of the legs are of the trilobitan type. As pointed out by Gürich, *Mimeaster* shows resemblance to *Marrella* and recent knowledge of the latter indicates that the two genera were related and that *Mimeaster* as a later representative of a large group, had even more specialized cephalic structures. Gürich assumes a bentonic mode of life of *Mimeaster*, but it seems much more probable that the arthropod belonged to the plankton and that the elaborate cephalic disc served as a floating organ as pointed out by Beurlen (1934).

In this connection may also be mentioned the genus *Pygaspis* which Beurlen (1934) describes from Carboniferous-Permian beds in Brazil. Beurlen compares the genus with *Marrella*, but the appendages are very little known.

The appendages of the Lower Paleozoic arthtropods have in a convincing way expressed the conservatism of the trilobitan appendage. The trilobitan appendage is found, not only in different trilobites from different formations, but occurs also in other arthropods from the Cambrian and Devonian, in arthropods which in size and general appearance were very different, in forms which were adapted to different habitats and had the preepipodites either well exposed or concealed by broad tergites.

Chelicerata.

Merostomata.

The Xiphosura and Eurypterida comprising the Class Merostomata, attained their greatest development in the Paleozoic and only a few xiphosuran species have remained down to the present time. As mentioned in the historical review, several zoologists, both in the last century and in quite recent years, have advocated the relationship between the Trilobita and Xiphosura. Already Dohrn (1871) pointed out the "trilobite stage" in the larval development of *Limulus*, and later Lankaster (1904, 1905), demonstrated several characteristics common to both groups. These views were criticized by paleontologists, and after the discovery of biramous limbs in trilobites only the crustacean relationship was considered. In recent times Fedotov (1924), Ivanov (1933), Størmer (1933) and Schulze (1936) have in general adopted the earlier views although their arguments in many respects were different from those set forth in the previous papers.

The dorsal shell. Before the appendages are discussed it is necessary to point out resemblances in the dorsal shells which in most cases are the only remains preserved of the earlier fossil species. R. u. E. Richter (1929) divided the Xiphosura into two suborders: the Synziphosura and the Limulida, the former including the older, and the latter the younger xiphosurans. The Synziphosura had ten (?) abdominal segments which were free or only the sixth and seventh ankylosed, and the Limulida had all, or at least the three (?) posterior segments, fused into one abdominal shield so characteristic of the living horseshoe crab (Størmer 1934 b).

Although only the genus *Weinbergina* (R. u. E. Richter 1929) has demonstrated parts of the appendages (prosomal) in the Synziphosura, the general structure of the dorsal shell indicates an intimate relationship to the more recent representatives of the Xiphosura. Especially Ivanov's (1933 p. 266 text-fig. 18) embryological studies on *Limulus moluccanus* (= *Tachypleus gigas*) have demonstrated a "synziphosuran stage" in the ontogenetic development of this form (Størmer 1934 b text-fig. 2). It seems possible, in spite of the lack of appendages, to trace the xiphosuran type backwards through Cambrian genera such as *Aglaspis* (Whitfield 1882, see Versluys u.

Demoll 1922 text-fig. 122) or *Beckwithia* (Resser 1931), to limb-bearing forms such as *Emeraldella* and *Leanchoilia* (text-fig. 29 c, d) and possibly to real trilobites.

As pointed out by Lankaster and others, the most striking characteristic common to trilobites and Xiphosurans is the trilobation of the dorsal shell. Raymond (1920 p. 118) finds this to be much overestimated, but although a slight trilobation may be found in several crustaceans it cannot be regarded as typical. Among the Trilobita and Xiphosura the trilobation is characteristic of practically all genera and in these groups we find the narrow axis and broad pleuræ which limit considerably the internal space below the dorsal shell. The trilobation is not typical of the eurypterids, but may be seen in certain genera such as *Stylonurus* (Woodward 1866—78 pl. 21) and *Mixopterus* (Størmer 1934 a pl. 5).

Schulze (1936 p. 210) points out that the articulating half ring ("Gelenkknie") is characteristic of both Trilobita and Chelicerata, and compares the anterior condylus of the *Limulus*-telson with the articulating half ring in *Ampyx*. When he compares the articulating sockets of the telson with cavities leading into the appendifers he probably considers structurees of different functions and the comparison seems therefore of less value. Along the frontal margin of the abdominal shield, however, an articulating half ring is developed which evidently is quite similar to those in trilobites. According to Ivanov (1933), the transverse joint between the head and abdomen in *Limulus* traversed the original segments which have a more oblique direction and a similar condition we may have had in the trilobites where at least the intergenal spines indicate an oblique primary segmentation (p. 169).

The tergal apodemes or entapophyses are very similar to the trilobitan appendifers as I have pointed out earlier (1933). Pl. 10 figs. 5, 6 demonstrate the segmental openings which are situated in the axial furrows and lead into the vertical processes (p. 167). Although the apodemes had a slightly more lateral position than the appendifers in trilobites, it seems appropriate to regard them as homologous structures serving chiefly as attachment of muscles to the appendages.

Lankaster (1904, 1905) compared the trilobite pygidium with the abdominal shield in *Limulus*, a comparison which was severely criticised by Raymond (1920 p. 118). Raymond pointed out that while it is secondary in *Limulus*, it formed a continuous shield already in the earliest ontogenetic stages of trilobites. The latter does not exclude, however, the earliest stages in the trilobite development having possessed "free" segments just as the earlier stages in the eggs of *Limulus*. Stubblefield (1926) has demonstrated how the segments during the ontogeny of the trilobite, migrated forward through a "transitory pygidium" and thus were evidently formed from a posterior telopore round the anal opening just as in *Limulus*. The abdominal shield of *Naraoia* (p. 231) may be compared with that in *Limulus*.

It cannot be denied, however, that the telson is characteristic of the Merostomata and not of the Trilobita. Lankaster compared the telson of the Merostomata with the caudal spine in certain trilobites e. g. *Dalmanites*. This homology may be only superficial and therefore of little or no value. According to Ivanov's embryological studies of *Limulus*, however, it has become apparent that the telson of *Limulus* is formed from tergal portions only, and the segments posterior to it are reduced so that the telson appears as a direct continuation of the axis, as a posterior segment. Ivanov draws interesting comparison between the telson in *Limulus* and the prominent axial spine or spines in the posterior portion of thorax in *Olenellus* (including the former genus *Mesonacis* according to Resser and Howell 1938), and *Elliptocephala*.

The structures of the dorsal shell of the Merostomata thus show many characteristics in common with the trilobites, and recent studies (Ivanov) of the ontogeny of *Limulus* have confirmed this resemblance.

The appendages. Unfortunately the appendages of the Synziphosura are practically unknown. Only the distal portion of the cephalic walking legs in *Weinbergina* (R. u. E. Richter 1929) (text-fig. 32 m) is known more in detail besides certain fragmentary remains of legs in *Bunodes* (?) (Steimann u. Elberkirch 1929). The prosomal appendages seem to have been uniramous as in the recent Limulida. Of interest is the lack of chelæ on the appendages. The distal spines resemble those on the last prosomal appendage in *Limulus* and certain eurypterids of the family Stylonuridae.

Among the Limulida the prosomal appendages, at least, seem to have remained practically unchanged from Permian to present time (Dunbar 1923). Although the thoracic (and abdominal) segments only are considered in the present paper, it is necessary to mention also the walking legs of prosoma. The two last pairs of prosomal appendages may correspond to the two first thoracic limbs in Trilobites (Ivanov), and no well-developed walking legs are found in the abdomen. Similar conditions are found in the old eurypterids of which the appendages are known in great detail and which will be discussed together with the xiphosuran appendages.

The prosomal walking legs of the Merostomata are very characteristic with their large broad coxæ with a long transverse area of attachment. The legs of the Xiphosura differ at first sight considerably from the trilobitan limb and also from the legs in recent arachnids. The prominent coxæ are attached to the flexible membrane surrounding the mouth and appendages. Since the proximal portion of the ventral body wall is developed as a soft membrane, Börner (1921) finds it impossible that a precoxa was incorporated in the body wall. Coutière (1919) on the other hand, states: "La patte posterieure de Limulus montre également un précoxa très net, normal à l'axe du corps avec gnathobase du cote interne et proépipodite externe." The author apparently interprets a basal portion of the coxa as a precoxa. Since a precoxa occurs in the trilobite limb, I have been interested in tracing the same segment in the legs of *Limulus*.

Both Xiphosura and Eurypterida have an extra gnathobase, an epicoxite, proximal to the well-developed gnathobase of the coxa (text-fig, 31 b, c). An examination of *Limulus*-specimens shows that the epicoxite is well separated from the coxa by a soft membrane and that the epicoxite also abuts on to the ventral membrane of the body wall. The coxæ of the frontal appendages become narrow laterally and the distal portion (processus coxalis Schulze 1932) is separated from the rest of the coxa by distinct lines appearing on the inside as raised lines (text-fig. 31 a *r*), probably apodemes for muscle attachment. It is possible that the portion lateral to the mentioned lines represents a precoxa, but, on the other hand the internal ridges might be explained as intercoxal apodemes of the type found in several arachnids (Kästner 1931). In the last prosomal appendage, the epicoxite is absent, but the lateral portion is more prominent than in the anterior coxæ. The lateral portion with the flabellum is marked off from the rest of the coxa by a distinct line (text-fig. 31 a) which possibly indicates a division between precoxa and coxa. The flabellum may, therefore represent, instead of an epipodite, a preepipodite homologous with the gill-branch in trilobites. Embryological studies by Ivanov

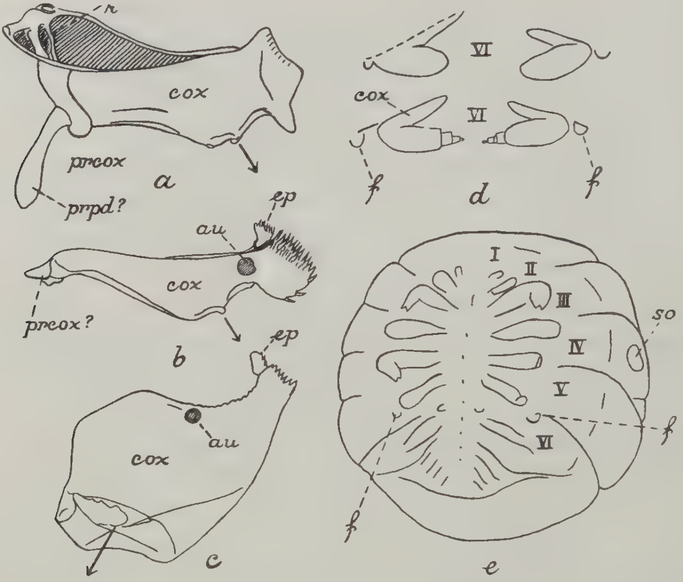


Fig 31. Basal segments of appendages in Merostomata, a, b = coxæ of sixth and third prosomal appendages in *Limulus polyphemus* (Linn.) (= *Xiphosura polyphemus* (Linn.)); c = coxa of sixth prosomal appendage in *Eurypterus fischeri* Eichw., Upper Silurian (after Holm); d, e = embryological development of appendages in *Limulus moluccanus* (Linn.) (= *Tachypleus gigas* Müller) (after Ivanov). I—VI = segments of prosoma, *au* = "auditory organ", *cox* = coxa, *ep* = epicoxite, *f* = flabellum, *prcox* = precoxa, *prpd* = preepipodite, *r* = internal ridge or apodeme, *so* = lateral sense organ (apparently present in adult Synziphosura).

(1933) have shown that the flabellum develops independently of the rest of the appendage (text-fig. 31 d, e), a fact which shows that the flabellum belongs to the very base of the appendage and the embryology therefore supports the assumption of a preepipodite.

The telopodite segments of the last leg in *Limulus* have been subject to somewhat different interpretations. The third segment, generally termed patella (text-fig. 32 o), has no distinct distal joint-line and therefore by certain authors, is not regarded as a separate segment. An examination of dried specimens (from the inside) shows, however, a distinct suture. Hansen has demonstrated that the dorsal of the two distal spines (the largest one in young specimens) represents a pretarsus and the *Limulus* telopodite with its seven segments is therefore not so different from the corresponding trilobite appendage.

More primitive conditions are found in the Lower Paleozoic eurypterids which, with regard to the construction of the limbs, show distinct affinities to primitive terrestrial arachnids (Størmer 1936).

The abdominal appendage of *Limulus* comprises the operculum and the characteristic plate-shaped appendages with the book-gills. Versluys u. Demoll (1922) tried to explain these appendages as modified sternites, but both the ontogeny (Ivanov 1933) and the detailed structure of the adults, show that this interpretation is impossible.

The gill-bearing appendages (as well as the prosomal appendages) were generally regarded as demonstrating the major difference between the trilobites and xiphosurans. The slender biramous trilobite limb seems at first sight to have practically nothing in common with the peculiar, apparently highly specialized abdominal feet of *Limulus*. In fact, a closer comparison of the appendages shows many common characters and from being an obstacle to an assumption of closer affinities between the two groups, the structures of the abdominal limbs rather confirm such a relationship (Størmer 1933, 1934 a).

The gill-appendages (pl. 10. fig. 5—7 and text-fig. 33 c, d) are attached to the ventral membrane below the corresponding tergal apodemes (appendifers). The plate-shaped feet are directed backwards and downwards and overlap each other so that the posterior margins are visible in ventral view and thus deviate from the trilobite preepipodites. The appendages which in each pair are fused along the median line, are biramous although the distal portion only is distinctly separated in two branches. The median branch is composed of several segments (at least four) of which the two distal ones (probably belonging to the telopodite) are free, while the proximal ones are fused with the lateral branch. Although they are fused, a distinct furrow indicates a division of the two branches also in the fused portion, and in the operculum (first abdominal foot) the distribution of the chitinized parts indicates a continuation of the median branch towards the basal portion of the limb (Størmer 1936 text-fig. 5).

The prominent lateral branch — the gill-branch — originates from the very base of the appendage. The proximal portion of the lateral branch is divided into numerous distinct, short subsegments which have been overlooked in most earlier descriptions and drawings

(Størmer 1934 a p. 54). The joint-lines are best seen in specimens preserved in alcohol. The appendages have more than ten short, proximal subsegments and distal to those the segments become longer, and the last but one attains a size more than one third the whole appendage. Pl. 10 fig. 5 shows the margin of the proximal subsegments and fig. 7 demonstrates, in dorsal view, the median branch and the distal, sub-triangular segment of the lateral branch.

The characteristic book-gills occurring on the dorsal (inner) surface of the flat appendage, occupy the proximal two-thirds of the limb and are found right up to the very base of the appendage. Only the distal segment and a small portion of the large segment proximal to it, lack the gills. The gills consist of numerous close set lamellæ (pl. 10, fig. 5, 7) which have a convex outer margin provided with short hairs and a long, straight inner margin by which they are attached to the broad shaft of the appendage. The line of attachment forms a right angle to the axis of the lateral appendage and each lamella or gill-blade, forms an acute angle to the shaft, an angle opening in distal direction.

The structures described are, as I pointed out in a preliminary paper (1933), in their general features very similar to those found in the trilobite (e. g. *Triarthrus*) limb. The abdominal appendage of *Limulus* is biramous and the lateral branch, extending from the very base of the appendage, consists of a multi-jointed shaft with lamellose extensions forming gill-blades. The distal portion of the shaft has no lamellæ and is only provided with short hairs also found at the distal margins of the inclined gill-blades. The not-trilobitan appearance of the *Limulus*-appendage is chiefly due to the great width of the jointed shaft and the gill-blades (filaments) attached to it. The plate-shape of the appendage (which may be figured as a compression of the *Triarthrus*-preepipodite in the longitudinal direction of the filaments) may be explained as an adaption which keeps the gills moist when the animal goes on shore and, at the same time, the broad shaft magnifies the protected respiratory surface of the gill. The *Limulus*-foot also deviates from the trilobite limb in having a very short median branch which in its proximal portion is fused with the prominent lateral branch. The median branch has no ambulatory function, however, and the small size is naturally interpreted as due to reduction when the mentioned function was abandoned. The appendages overlap each other in a different way as did the trilobite limbs, but a similar position is also indicated in the trilobitan appendage of certain Middle Cambrian arthropods e. g. *Waptia* (p. 237).

The abdominal appendages of the recent Xiphosura thus show a close resemblance to the trilobite limb and the correspondence can hardly be interpreted otherwise than as signifying a relationship between the two groups.

According to this interpretation the lateral branch of the gill-foot in *Limulus* would represent a preepipodite, an explanation which is supported by the origin of the branch at the very base of the appendage.

The present views were touched upon by Calman (1919), but in a later paper (1926) the same author points out that relationship between trilobites and crustaceans cannot be doubted. Contemporaneously with my preliminary paper, Ivanov (1933) also points out the probable homology between *Limulus*-gills and the trilobite filaments. In a recent paper Raymond (1935 p. 216) agrees with the assumption that *Limulus* has retained the gills of the primitive trilobitan type of limb.

Among the Eurypterida, the Lower Paleozoic forms already had abdominal appendages which seem to have been more specialized than those in the recent *Limulus*. Also in these forms the feet were plate-shaped, but in the posterior appendages the right and left plates were often completely fused forming one continuous plate which may easily be misinterpeted as a sternite. The anterior pairs of appendages were either completely separated, or the division was indicated by a notch in the posterior margin. Only the two anterior pairs of gill-bearing appendages (also the operculum carried gills in the Eurypterida) possessed distinct remains of the median branch — the telopodite — although it was specially modified to form the opercular appendage. Text-fig. 33 e indicates the structures of the operculum. The lines crossing the broad branchial plates are only rows of scales, but it is probable that they mark earlier joint-lines. In the basal portion of the limb, however, the pentagonal segment forms a base both to the median and lateral branch and, therefore, might possibly represent a precoxa.

Arachnida.

When a comparison with the Arachnida is attempted, one has to bear in mind that the recent representatives, and most of the extinct ones, belong to terrestrial forms with a habitat quite different from that of the trilobites. A comparison is also complicated by the lack of abdominal appendages in most groups.

By the classical finds of Silurian Scorpions, the fossil record has demonstrated the considerable geological age of the true arachnids. The early scorpions are also sufficiently well-preserved to show limb-details of phylogenetic value. The famous Devonian chert of Rhynie, Scotland, also contains excellently preserved typical arachnids which in spite of their minute size (e. g. Antrachomarthi of 2,2 mm length) show the finest details of the legs. A great number of Late Paleozoic arachnids have been described, but in most cases the the preservation is too fragmentary to demonstrate the structures of the appendages.

In text-fig. 32 the walking legs of a number of ancient and recent arachnids are depicted, together with trilobite and merostome legs, in order to demonstrate similarities in structures and a possible homology of segments in the legs.

With its great size, narrow triangular outline and two distal condyli on a transverse axis, the coxa of the arachnid leg is characteristic. It cannot be doubted that the trilobite coxa is homologous with the arachnid coxa.

A precoxa (subcoxa) has recently been demonstrated in the legs of the Ixodidae among the Acari. Schulze (1932, 1935) and Ruser (1933) have demonstrated that the precoxa forms a distinct segment which according to the published illustrations (text-fig. 32 k) shows considerable resemblance to the corresponding segment in the trilobite appendage. The precoxa is partly sunk into the body wall and a further stage of reduction is indicated in certain species having only the anterior and posterior apodemes as remnants of the precoxa (Schulze 1935 p. 19). This recalls the conditions in *Limulus* where the lateral processus coxalis, with the apodemes (?), seems to form rudiments of a precoxa.

It is of considerable interest that a precoxa is found just in the Ixodidae which, according to Schulze (l. c.), apparently are related to the extinct Anthracomarthi, so characteristic of the Late

Paleozoic, and, on the other hand, also show affinities to the trilobites in several morphological characters. The coxa of Ixodidae (text-fig. 32 l) has a peculiar hollow ridge, cymatium (*cy*), with a perforated area forming a sensitive organ. Schulze assumes that the cymatium originated from folds in the softer pleural integument and that the cymatium of the first coxa has loosened and united with the collare in forming the mouth parts. If the cymatium belongs to the base of the appendage and appears partly separated from the coxa, it seems possible that the sensitive organ in the Ixodidae is a primitive structure which may form a remnant of the preepipodite in trilobita. Future research, also of the fossil Anthracomarthi, may settle this possible homology.

The number of segments in the legs of Acari has been differently interpreted. Ewing (1928) indicates eight segments outside the coxa (subcoxa of Ewing), but Ruser (1933) finds the second telopodite segment only to be a secondary division of the femur. Devonian Anthracomarthi (text-fig. 32 e) have a seven-segmented telopodite just as the trilobites. The comparison of the appendages thus seems to support the assumption of a relationship between Trilobita and Acari, or rather that the latter group is related to very primitive arachnids which again were connected with the trilobites.

The Silurian scorpions (text-fig. 32 f), which probably were aquatic forms, had simple telopodites composed of seven apparently cylindrical (telescopic) segments. The segments resemble those found in trilobites and the leg ends in a distal claw (apparently formed by the pretarsus and a small claw just as in recent Solifugæ). A distal claw was also characteristic of the contemporaneous Eurypterida and evidently signifies a primitive condition which might find its origin in the median distal claw in the trilobite limb.

The structure of the distal segment, the pretarsus, is rather complicated in the arachnids. In *Phalangium* (Opiliones) which has many primitive characteristics, the legs have a single distal claw such as in the Early Paleozoic forms, but in most arachnids, both ancient and recent, the legs terminate in two curved claws so well demonstrated in the recent scorpion (text-fig. 32 s). The claws are mounted on a short pretarsus which is generally called pseudonychium. As shown in text-fig. 32 c, q, r, the distal portion of the leg in *Phacops* in general features shows considerable resemblance to the scorpion leg (d, s). A pseudonychium seems to be present in both, but in the scorpion the median claw is reduced and the lateral ones are stronger developed than in the trilobite. Regarding the distal portion of the leg, the trilobite limb (especially the little specialized Cambro-Ordovician species), seems to form a primitive structure which may have given rise both to the single claw in the Eurypterida and the double claw of most Arachnida. In general, the walking leg of the Trilobita shows considerable correspondance to the legs of the Arachnida and in the following a more detailed comparison is attempted.

Homology of leg-segments in Trilobita and Chelicerata. The homology of the segments in the arthropod appendages has been studied in great detail by Börner (1903, 1921), Hansen (1925, 1930) and others. In order to obtain valid results, it is necessary not only to study in detail the articulation between neighbour segments, but also to demonstrate the muscles directing the movements of the appendage. Comparisons based on the number of segments only, have been severely criticised as leading to erroneous interpretations.

The muscles and articulation are not, however, quite decisive factors in the determination of the homology of limb-segments. Börner (1921 p. 653) thus points out that by reduction of a segment the muscles may disappear completely and the primary joint only remain as a suture or furrow. Hansen (1930 p. 336) mentions how in the articulation between prefemur and femur the movement changes from horizontal to vertical through different forms of Cheloneti to typical scorpions, a change which, according to Hansen, has given rise to considerable misunderstanding of the joints.

Concerning the fossil arthropods, a study of the limb-muscles is impossible (unless certain processes indicate the attachment of muscles such as in the chelicera of certain eurypterids) and, usually, it is difficult to demonstrate the exact movements of the segments generally flattened in the shale. In spite of this, I have ventured to attempt an interpretation of the limb-segments of Trilobita and different groups of Chelicerata. The present knowledge of the appendages in trilobites and other extinct arthropods, may elucidate the problem from another angle.

As mentioned, the hind walking leg of the Silurian Scorpion *Palaeophonus* (text-fig. 32 f) (Pocock 1901) corresponded in its main features to the trilobite leg (without preepipodite) although the the coxal

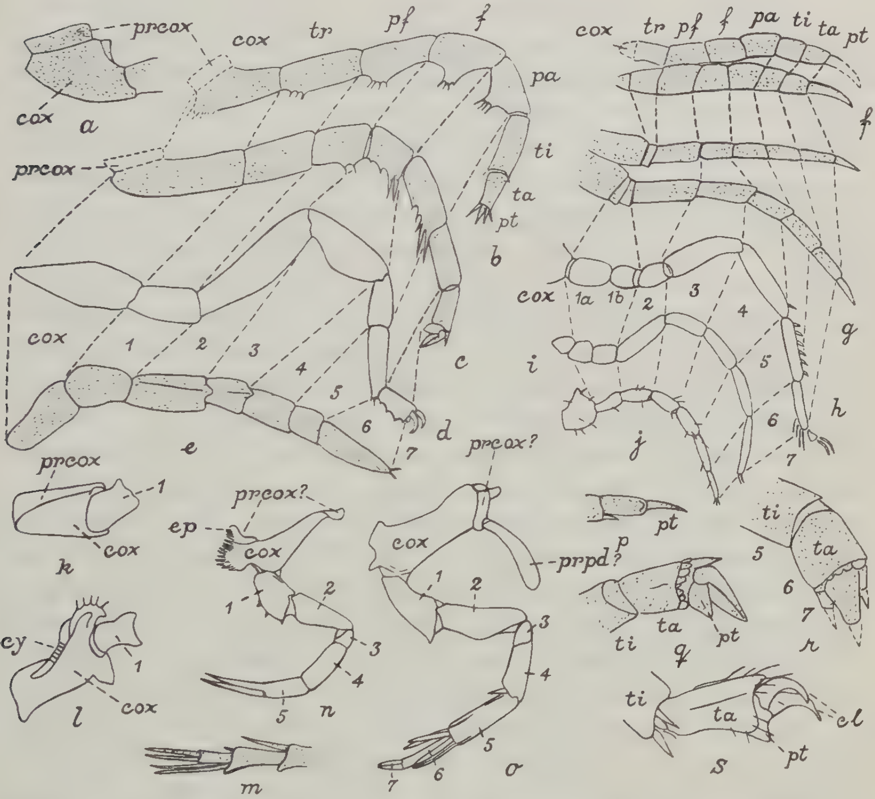


Fig. 32. Walking legs of Trilobita, Merostomata and Arachnida. Extinct forms with dotted segments. Broken lines indicate a possible homology of leg-segments. a = Trilobita, *Ceraurus*, Ordovician. b = Trilobita, *Cryptolithus*, Ordovician. c = Trilobita, *Phacops*, Devonian. d = Scorpionida (after Snodgrass). e = Anthracomarti, *Palaeocharinoides*, Devonian (after Hirst). f = Scorpionida, *Palaeophonus*, Silurian, posterior legs, (after Pocock). g = Eurypterida, *Rhenopterus*, Devonian, third and fourth legs, (after Størmer). h = Solifugæ, fourth leg, (from Savory after Roewer). i = Notostigmata, fourth leg (after Hansen). j = Palpigradi, third leg (after Hansen). k, l = Acari, basal portion of leg (after Schulze), m = Xiphosura, *Weinbergina*, Devonian, distal portion of leg (after R. u. E. Richter), n, o = Xiphosura, *Limulus*. p = Scorpionida, *Palaeophonus*, Silurian, distal portion of leg (from Hansen after Thorell a. Lindström). q, r = Trilobita, *Phacops*, distal portion of leg. s = Scorpionida, distal portion of leg (after Hansen). 1—7 = segments of telopodite, *cl* = claw, *cox* = coxa, *cy* = cymatium, *ep* = epicoxite, *f* = femur, *pa* = patella, *pf* = prefemur, *prcox* = precoxa, *prpd* = preepipodite, *pt* = pretarsus, *ta* = tarsus, *ti* = tibia.

portion was not well demonstrated in the specimen. In an earlier paper (1936), I have shown that the walking legs of the Eurypterida, in spite of their considerable variation and elaboration, apparently were wery conservative regarding the number of segments in the respective appendages. Concurring with views expressed by Hansen, I pointed out the resemblance in structures of limbs in eurypterids and primitive recent arachnid groups, and suggested that the eurypterid walking leg approached the primitive arachnid appendage. In the eurypterids, the fourth and fifth prosomal walking leg (text-fig. 32 g) possessed eight and nine segments respectively (the distal claw regarded as a true segment, a pretarsus). In addition comes an epicoxite (text-fig. 31 c) which may have belonged to precoxa which thus gives nine and ten segments as a total number.

Although the two posterior appendages have one segment more than the leg in front of them the appendages are mutually alike except for the trochanter which has become doubled in the hind appendages. A double trochanter in the posterior legs seems to be a primitive condition demonstrated in several primitive arachnid orders such as Solifugæ (text-fig. 32 i), Notostigmata (h) and Ricinulei.

In the eurypterid walking leg, a knee is demonstrated in certain genera between the third and fourth (or fourth and fifth in hind legs) segments of the telopodite. This indicates that the segment outside the knee is a patella and the distal ones a tibia, tarsus and pretarsus.

Returning to the trilobite appendage, we find a considerable correspondence. The joints may be compared one by one as suggested in text-fig. 32. A double trochanter is not found in the trilobite leg, however, but its absence in the primitive trilobite limb and legs of the early Scorpions and Anthracomarthi supports the assumption that the trochanter was subject to a secondary division which took place very early in the development of the Chelicerata. (Already the Silurian eurypterid *Slimonia* (Woodward 1866—78 pl. 17 fig. 4) had two well-sized trochanters hardly deviating from the other segments.) The correspondence with the trilobite limb is confirmed by the presence of a knee between the third and fourth telepodite segment in *Cryptolithus* (b), but this is not of major importance since other trilobites have no typical knee developed and the condition in the late *Phacops* (c) approaches the scorpion leg.

Comparing the trilobite leg with the primitive Palpigradi (j), the early Anthracomarthi (e) and the presumed more specialized Scorpionida (d) one also, as mentioned, finds the same number of segments. In the Acari the prefemur was not regarded as a true segment by Ruser (1933), but the conditions in Anthracomarthi, which are regarded as early relatives, and in trilobites and other early arthropods, make it probable that it rather represents a reduced segment as suggested by Ewing (1928).

The present interpretation of the limb-segments in Trilobita and Chelicerata (text-fig. 32) as: precoxa, coxa, trochanter (one or two), prefemur, femur, patella, tibia, tarsus and pretarsus, deviates to some extent from the identification presented by Börner, Hansen and others. It is therefore necessary briefly to mention the different opinions and to point out my grounds for using the present terms.

The present terms agree fairly well with those given by Börner (1921) who considers a double trochanter as less common than a double femur (prefemur and femur), but, on the other hand, he bases the whole identification on the structure of the joints (e. g. the knee-joint) and distinguishes the segments accordingly. The study of the fossil forms particularily indicates, however, that the number of segments is very characteristic and probably more reliable than the position of a knee-joint.

Like Börner, Hansen (1930) regarded the coxa as the basal segment in the arachnid leg. But from a comparison with the Crustacea, which in several cases demonstrate a distinct precoxa, he deduced that the so-called coxa in the arachnid limb actually (at least in part) was a precoxa just as the basal segment of the crustacean leg. Since a true precoxa is now found in Ixodida, Trilobita and possibly in Xiphosura, Hansen's interpretation of the arachnid coxa as a precoxa can hardly be maintained. Hansen also meets difficulties in explaining the basal segments of the legs of primitive groups of the Chelicerata. The second and third segments in the posterior prosomal appendages of old types such as the Eurypterida and Ricinulei are regarded as homologous with the coxopodite and basipodite in the Crustacea and since these segments are represented by one segment in the frontal legs this one segment is termed transcoxa. But while Hansen mentions the basal segments in the legs of Solifugæ, Notostigmata and Eurypterida as precoxa and transcoxa, the corresponding segments in the Opiliones, Palpigradi and Xiphosura are called coxa and trochanter, on account of a vertical movement in the joint between the two segments, an articulation indicative of a coxa and not of precoxa. In accordance with Hansen's own comments on the change in the articulation of the joints (p. 250), I find this reason of somewhat minor importance and the general resemblance between the legs of the primitive Chelicerata, the fossil ones included, makes a fundamental difference such as Hansen suggests hardly probable.

Ewing (1928) follows Hansen in reckoning the first distinguishable segment (the coxa) as a precoxa, but the next segments he calls coxa and trochanter, the second trochanter being identical with the prefemur of Hansen.

A comparison of the walking legs in Trilobita and of primitive Chelicerata has demonstrated several common characteristics, especially in the structure of coxa and pretarsus and in the number of segments in the appendage. The comparison indicates that the trilobite leg more or less was the prototype of the merostome-arachnid leg with its nine segments and a tendency to form ten segments in the posterior prosomal appendages.

The abdominal appendages. In general the abdominal appendages are quite reduced in the Arachnida, but modified legs are traced in the combs of scorpions, the spinnerets of spiders, and, probably also in the abdominal plates of certain extinct genera. In addition to these come the arachnid lung-books which evidently are homologous with the branchiæ of Xiphosura.

The combs or pectines of the scorpions are very characteristic appendages belonging to the third abdominal somite (ninth of the body). The combs are well-developed also in the Silurian and Carboniferous genera. In the recent scorpions, the organ consists of a shaft (text-fig. 33 i *co*) to which a number of finger-shaped teeth with basal fulcræ (*fu*) are attached. The shaft which tapers in width towards the distal blunt point, is divided by furrows into several pieces of which an anterior ridge and a distal segment (with teeth) may be noticed. The posterior portion of the shaft is often divided in numerous subsegments. The exact function of the pectines is unknown, but they are probably tactile organs of some kind.

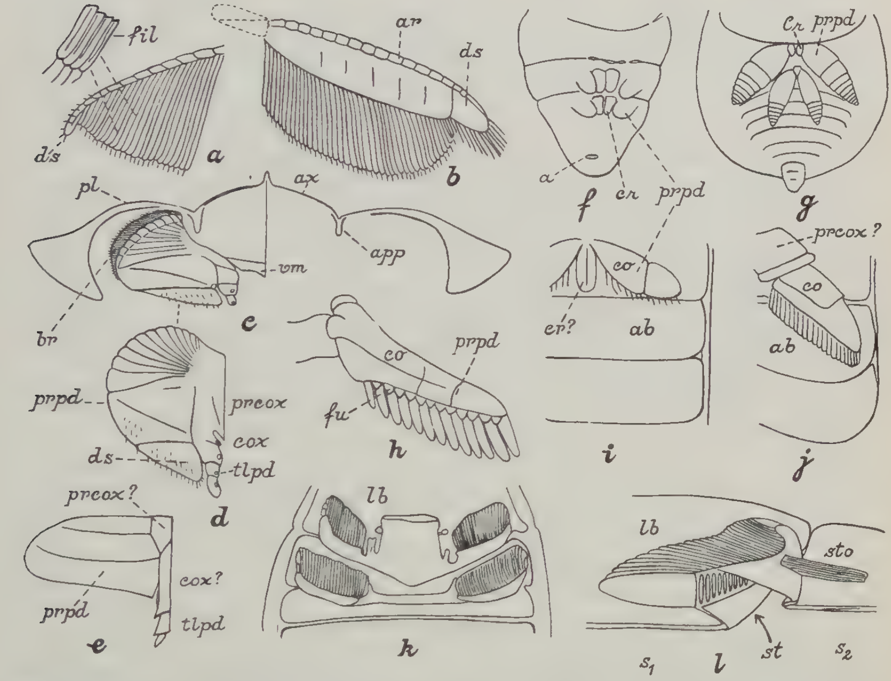


Fig. 33. Abdominal appendages of Trilobita, Merostomata and Arachnida. a = Trilobita, *Triarthrus*, Ordovician, distal portion of preepipodite with details of gill-blades. b = Trilobita, *Neolenus*, Cambrian, preepipodite. c, d = Xiphosura, *Limulus;* c = anterior view showing position of gill-appendage in relation to dorsal shell (distal portion of appendage generally bent upwards), d = gill-appendage in ventral view. e = Eurypterida, *Eurypterus*, Silurian, gill-appendage forming right half of operculum. f = Araneae, embryological development of spinnerets (from Gerhardt u. Kästner after Montgomery). g = Araneae, *Heptathela*, abdomen with appendages (from Gerhardt u. Kästner after Kishida). h = Scorpionida, *Heterometrus*, comb or pectine. i = Scorpionida, *Palaeophonus*, Silurian, comb and abdominal plates (after Pocock). j = Scorpionida, *Eobuthus*, Carboniferous, comb and abdominal plates (after Pocock). k, l = Pedipalpi, *Thelyphonus;* k = lung-books of anterior abdominal segments, l = Structure of lung-book, diagrammatic (after Kästner). *a* = anal opening, *ab* = abdominal plates, *app* = tergal apodemes or appendifers, *ar* = anterior rim or ridge of preepipodite, *ax* = axis, *br* = branchiæ or gills, *co* = comb or pectine, *cox* = coxa, *cr* = cribellum, *ds* = distal segment of preepipodite, *fil* = gill-blades or filaments, *fu* = fulcra, *lb* = lung-book, *prcox* = precoxa, *prpd* = preepipodite, *s* = sternite, *st* = stigma, *sto* = muscle serving as stigma-opener, *tlpd* = telopodite, *vm* = ventral membrane.

Lankaster (1881, 1905) derived the scorpion combs from the first gill-bearing abdominal appendages in *Limulus*. Calman (1919) indicated, in addition to the Limulus-theory of Lankaster, the possibility of a homology between the scorpion combs and the lateral branch in the trilobite limb. Versluys and Demoll (1922 p. 15) objected to Lankaster's views, but one of their arguments was based on the evidently erroneous conception of the eurypterid gill-appendages as sternites, and the other objection was that the somite carrying combs in the scorpions possessed lung-books in the Pedipalpi and Araneae. I do not find the latter point to create any difficulty with regard to Lankaster's interpretation. Versluys and Demoll tried to compare the combs with the median appendage in the corresponding somite of the eurypterids, but this explanation is impossible unless the gill-appendages of the merostomes are regarded as sternites.

The combs of the fossil and recent scorpions (text-fig. 33 h, i, j) have many features in common with the preepipodites of the trilobites. *Neolenus* (b) in particular shows a similar shaft with an anterior ridge and the teeth (gill-blades) along the posterior margin. In the evidently aquatic *Palaeophonus* (i) Pocock (1901) traced faint impressions of teeth which had more the characteristics of lamellæ than of firm teeth, a feature supporting the assumption of trilobitan affinities. In the same fossil specimen, which, however, is fragmentarily preserved, two median lobes (*cr*?) indicate the rudiments of median appendages as suggested by certain authors. The attachment of the comb at the very base of the "median appendage" confirms the assumption of the scorpion comb as homologous with the preepipodite in the trilobite appendage.

The probable evolution, from the biramous trilobite limb to the uniramous comb, is also supported by the presence in the Middle Cambrian of arthropods which had already reduced the median branch, the telopodite, in their trilobitan appendages.

The abdominal appendages of spiders (Araneae) are restricted to the fourth and fifth somite of the abdomen. They serve as spinning organs and the legs are therefore considerably specialized for this purpose. Both the embryology and the appendages in the most primitive group, the Liphistidae (Gerhardt u. Kästner 1938 p. 569), indicate structures comparable with combs of scorpions (Silurian) and legs of trilobites (text-fig. 33 f, g). The appendages consist of a median branch, the cribellum (*cr*), and a lateral branch forming the spinneret. (*prpd*). The cribellum forming an oblong plate movable up and down round its transverse anterior border, is well marked in early larval stages (f). The spinnerets of the Liphistid spiders form real telescoped appendages.

The median and lateral appendages have been mentioned as endo- and exopodite (e. g. Savory 1935). A comparison with the comb of the Silurian scorpion *Palaeophonus* (i) show considerable correspondance in general structure although no teeth or "filaments" are present in the spinnerets. It seems natural to homologize the cribellum with the median lobe (cr) in this form and as shown above, the combs probably are homologous with the preepipodite of the trilobite leg. The spinneret and the cribellum unite at the very base and also the larval development shows that the former hardly represents an exopodite, but rather forms a preepipodite or possibly an epipodite. The correspondence with the early scorpion combs also makes it natural to assume that the abdominal appendages of spiders are modified limbs which probably were of the trilobitan type.

The homology of arachnid lung-books and xiphosuran book-gills has been subject to considerable discussion, but at present it seems so well founded that it may be adopted as a fact (Kästner 1929). After Ivanov's (1933) embryological studies of *Limulus* and more detailed knowledge of the eurypterid appendages, it seems hardly doubtful that the gills gave rise to the lung-books and not the opposite. As Kästner (1929 p. 540) points out, the lung-books are to be regarded as complete invaginations, not only the sinking in of primary book-gills.

Text-fig. 33 k, l demonstrate after Kästner (1932) the lung-books of the Pedipalpi which, like the Araneae, have lung-books similar to those in the Scorpionida. The invaginated lamellæ (*lb*) are more narrow that the broad book-gills of *Limulus* and have thus a shape which approaches very much the blade-shaped filaments of the preepipodite in trilobites.

Another question, which does not directly concern the homolgy, is how large a portion of the original appendage was invaginated. The Carboniferous scorpion *Eobuthus* (j) probable had gills concealed on the inside of the rounded ventral plates which were even separated by a suture (Wills 1933) and thus were very similar to the abdominal appendages of eurypterids. It is difficult to decide to what extent such appendages could be reduced or incorporated in the body wall, by the change into a terrestrial mode of life.

The comparison has demonstrated that the arachnid and trilobitan appendages have several characteristics in common. With regard to the walking leg, connections with primitive arachnids seem evident and the old trilobite limb elucidates apparently many features of the typical arachnid leg and thus seems to approach the archaic arachnid appendage.

Concerning the preepipodite of the trilobitan appendage, it seems hardly doubtful that it is homologous not only with the gill-branch of the abdominal limb i Xiphosura, but also with the arachnid lung-book, the scorpionid comb, and probably, the spinnerets of the spiders.

A relationship between the Trilobita and Arachnida, therefore, can hardly be denied, and, taking into consideration the distinct connection with the Merostomata, we may conclude that the trilobitan type of appendages, such as it occurs in trilobites and primitive Lower Paleozoic arthropods, evidently gave rise to the appendages of the Chelicerata belonging to the same arthropod stock.

Insecta.

A closer relationship between trilobites and insects seems not very probable, but, on the other hand, the construction of the trilobite appendage may elucidate certain structures in the abdominal appendages of insects.

Abdominal appendages are conspicuous in the Thysanura and in the larvæ of pterygote insects. In Thysanura (text-fig. 34 b) the abdominal limbs consist of a large basal (?) segment to which a lateral stylus and a ventral eversible vesicle are attached. The female ovipositor is not formed exactly on the same plan (Snodgrass 1933, 1935). As shown in text-fig. 35, the basal portion of the appendage is very similar, though in certain genera (*Nesomachilis*) (i) the segment forming the base of the styli is more slender. Instead of a ventral vesicle the gonopod has a long, jointed appendage, the gonapophyse, which either appears as a separate appendage (h, i) or may form a part of a tubular ovipositor (g). The gonapophyses are attached medially at the very base of the larger segment interpreted as the coxa. It is interesting to notice that in certain forms of Thysanura (h) the gonapophyses are attached to a short segment basal to the so-called coxa or coxopodite.

Similar conditions are found in larvæ of Neuroptera such as *Corydalus* (c). The styli have a more lateral position, being situated in line with the thoracic precoxæ (Hansen 1930 p. 214). The eversible vesicle (tubercle) (*νs*), often bearing tufts of gill filaments, resembles the vesicle in the Thysanuran leg, but deviates in having muscles leading to the dorsum, not only to the base of the appendage. In the larva of *Sialis* (e) the conspicuous lateral styli have six segments thus resembling ordinary legs.

The characteristic tracheal gills in the larva of Ephemerida (d) are similar styli attached to the upper one of two more or less separated plates situated in the lateral portion of the abdomen between the tergum and sternum.

Concerning the interpretation of the structures described briefly above, the opinions are based chiefly on the presence of a stylus in the basal portion of the second thoracic leg of Thysanura (a). The stylus-bearing podite is generally regarded as a coxa since a short precoxa is indicated proximal to it (doubted by certain authors). Although the stylus of the thoracic leg consequently has to be regarded as an epipodite, it is not certain that it is homologous with the styli of the abdomen. Snodgrass (1933, 1935) interprets the great basal segment of the abdominal appendage in Thysanura as a coxa and the telopodite nature of the ventral vesicle is disregarded since two vesicles may occur in the same segment. The same author (1935, 1936 p. 72) regarded the gonapophyses, on account of their mediobasal position, as coxal endites rather than telopodites.

With our present knowledge of the trilobite appendage and the abdominal foot in Xiphosura, it seems possible to interpret the appendages in a different way. The median jointed appendage (the gonapophyse) may represent the telopodite and the basal segment, generally regarded as the coxa, consequently has to be interpreted as the basal portion of a lateral appendage of which the stylus forms the distal segment. In this case the lateral branch is attached at the very base of the appendage just as in Trilobita and Xiphosura and the presence of a basal segment (precoxa?) in certain forms confirms this conception.

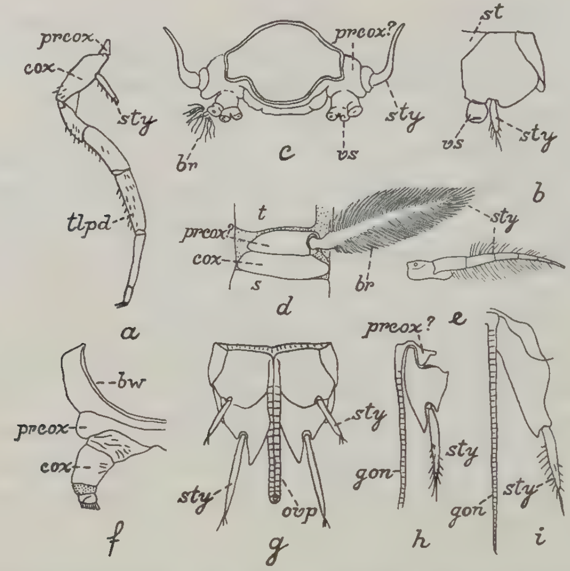


Fig. 34. Appendages of Insecta. a = Thysanura, *Machilis*, third thoracic leg. b = Thysanura, *Nesomachilis*, abdominal appendage. c = Neuroptera, *Corydalus*, larva, abdominal segment. d = Ephemerida, larva, a gill and its basis in the pleural wall. e = Neuroptera, *Sialis*, larva, abdominal appendage. f = Lepidoptera, *Malacosoma*, larva, leg. g, h = Thysanura, *Thermobia;* g = abdominal appendages with ovipositor, h = second gonopod. i = Thysanura, *Nesomachilis*, second gonopod. (a after Hansen, b—i after Snodgrass) *br* = branchia or gill, *bw* = body wall, *cox* = coxa, *gon* = gonopod, *ovp* = ovipositor, *prcox* = precoxa, *st* = sternite, *sty* = stylus, *tlpd* = telopodite, *v* = ventral vesicle.

In Sialida the styli have a decided lateral position so that: “The appendage bases fall in line with the thoracic subcoxa” (Snodgrass 1935 p. 274) and in the Ephemerida the styli are attached to the upper half of the horizontally divided basal plate. Snodgrass interprets the (double) basal segment as a coxopodite (coxa), but with the present interpretation the upper plate with the stylus would represent a precoxa. The abdominal appendages of Lepidoptera larvæ (text-fig. 34 f) have a well-marked precoxa and it seems, therefore, possible that a similar segment might be present in the legs of the larvæ of Neuroptera and Ephemerida. In this case the ventral vesicle of the Sialis-larva and the Thysanura (even when divided into two tubercles) may be explained as a coxa, or a coxa with rudiments of telopodite (the gill-filament representing epipodites?).

In fact the vesicle or tubercle in *Corydalus* has a long muscle attached to the dorsum, a muscle which may be compared with a similar muscle in the walking leg of the caterpillar.

With the present interpretation, the lateral, jointed appendage in *Sialis* and the gills of the ephemerid larva would represent preepipodites homologous with the lateral gill-branch of the trilobite appendage. Against this interpretation speaks the stylus of the thoracic leg of the Thysanura, but as also indicated by Snodgrass, it is not certain that this immovable process is homologous with the movable styli of the abdomen.

In any case, we may conclude that the lateral, sometimes jointed appendage of the abdominal segments in insects, apparently differs from the crustacean exopodite (or telopodite) and exhibits certain features in common with the preepipodite of the trilobite appendage.

Whether this indicates a relationship between the trilobites and insects, is premature to decide, but additional studies in insect morphology may further elucidate this question.

Although the ephemerid gill-appendage may be homologous with the gill-appendage of the trilobite, it deserves to be remembered that the former has tracheal gills with a great number of tracheoles receiving the oxygen absorbed through the outer membrane.

It may be possible that the main insect trachea, which have their stigma in the precoxal region of each segment, were formed by invaginations of gill-bearing bearing preepipodites in aquatic ancestors, but whether these were of the trilobitan type or represented other arthropod stocks (e. g. Crustacea) it is not possible to decide.

Crustacea.

All paleontologists who have specially studied the trilobite appendages, Beecher, Walcott, Raymond, Jaekel, Warburg, Richter and others, arrived at the conclusion that the trilobites belonged to the Crustacea. As pointed out both by Raymond (1935) and Eriksson (1934), the presence of antennæ and biramous appendages in a gill-breathing arthropod correspond to the definition of Crustacea and the trilobites, therefore, have to be included in this great group. If, however, the Crustacea on account of the definition should appear to be a polyphyletic group, it occurs to me more reasonable to alter the definition and to remove the Trilobita from the Crustacea, than to retain the Crustacea as a more artificial group including arthropods of different origin. As pointed out by several zoologists, the presence of antenna is of minor importance and the presence of a biramous limb is not at all conclusive of crustacean affinities as shown by the present studies.

Since the crustaceans are aquatic arthropods, certain common adaptions might be expected in trilobites and crustaceans and, in case of relationship, common characteristics would perhaps be better preserved than in forms which changed into a terrestrial mode of life.

The fossil material of limb-bearing Crustacea is very fragmentary, at least concerning the Lower Paleozoic forms. The Lower Devonian *Nahecaris* (Phyllocarida or Archaeostraca) (Broili 1928) appears to be a typical crustacean with appendages similar to those found in Malacostraca. The appendages bear no closer resemblance to the limbs of trilobites. The Cambrian *Hymenocaris*, on the other hand, had apparently typical trilobitan legs although it is generally included in the Phyllocarida. It differs, however, also in the structure of telson (and cerci) and, provisionally, I am inclined to regard the Burgess species at least, as related to the other arthropods with trilobite limbs (p. 228), as occurring in the same beds.

The Middle Devonian *Lepidocaris* (text-fig. 35 b) (Scourfield 1926, Calman 1926) was a typical crustacean with the appendages resembling both the foliacious limbs of Branchiopoda (a) and biramous limbs of Copepoda (c).

The appendages of these early crustaceans indicate, as pointed out by Raymond, no transition from the trilobitan to the crustacean limb. Raymond (1920) clearly showed that the trilobite leg was not at all foliacious such as the branchiopod foot (a) with which it had often been compared. He pointed out a resemblance to the copepod leg. Walcott (1918) in accordance with his assumption of a precence of epipodites, compared the trilobite appendages with the legs of the primitive Syncarida (Malacostraca) (g) which had many representatives already in the Late Paleozoic.

The biramous limb is typical of the Crustacea, but whether it is primary or formed by a strong development of an exite in an uniramous appendage, is a special problem which will not be discussed in the present connection. Text-fig. 1 indicates a generalized crustacean leg such as it may be found e. g. among the Syncarida. The precoxa is rarely separated from the body wall, but may be distinguished in many different crustacean groups. The exopodite is attached to the basipodite forming the third segment of the appendage. The basal uniramous portion may be ankylosed into a protopodite, but, in general, the basipodite is well separated from the coxopodite. The exopodite is therefore not homologous with the lateral branch in the trilobite appendage, a branch which according to the present studies was attached to the precoxa at the very base of the appendage. It seems impossible to interpret the short basal segment in the primitive trilobite limb as a protopodite. In other arthropods the movements in the joints proximal and distal to the coxopodite (Hansen 1930 p. 40), correspond also with the articulation between precoxa and coxa-trochanter in the trilobite appendage.

In *Neolenus* and *Triarthrus* the two branches of the appendage were kept nearly parallel just as in a copepode, but this is not a general feature because in *Cryptolithus*, *Phacops* and *Ceraurus* the median branch was curved ventrally while the lateral branch was kept horizontal against the pleura. Even in *Triarthrus* the position of the appendage differs from the common post-ventral direction in most crustaceans such as e. g., the Copepoda (in the Order Brachyura the legs as an exception are directed laterally).

It is of importance that evidently crustacean has typical blade-shaped filaments attached to the shaft of the exopodite. As I strongly pointed out in my preliminary paper (1933), the blade-shaped filaments of the trilobite appendages cannot be compared with the fine cylindrical setæ of the crustacean exopodite. Only the cylindrical setæ at the ends of the filaments may be regarded as setæ. In a few cases the exopodites function as gills. In Leptostraca (text-fig. 35 d), the exopodite forms a flat unsegmented branchial lobe which has no characteristics in common with the lateral branch in the trilobite appendage. The exopodite thus deviates from the trilobitan gill-branch not only in being attached to the third limb-segment instead of the first, but also in the position and the lack of blade-shaped filaments even when the exopodite serves as a gill.

Many crustaceans have epipodites (exites of the coxopodite) serving as gills. The epipodites (text-fig. 1, 35 *ep*) may appear as simple lobes or highly branched appendages, but they are never jointed and appear merely as outgrowths of the coxopodite wall.

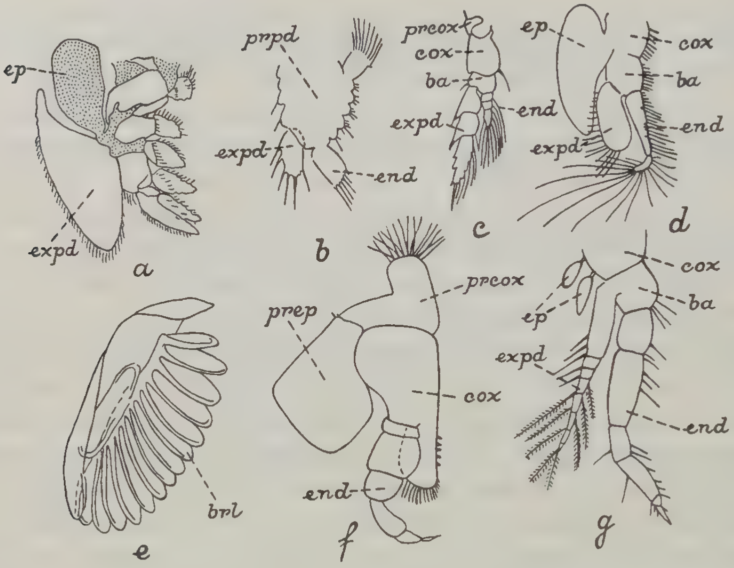


Fig. 35. Appendages of Crustacea. a = Branchiopoda, *Lepidurus*, fifth thoracic leg (after Hansen), b = Lipostraca, *Lepidocaris*, Devonian, thoracic leg (after Scourfield), c = Copepoda, *Calanus*, thoracic leg (after Hansen). d = Leptostraca, *Nebalia*, thoracic leg (after Giesbrecht). e = Cumacea, *Cuma*, gill of first maxilleped (from Versluys u. Demoll after Sars). f = Isopoda, *Asellus*, Maxilla (after Börner). g = Syncarida, *Koonunga*, thoracic leg (after Zimmer). *ba* = basipodite, *brl* = branchial lamella, *cox* = coxopodite, *end* = endopodite, *ep* = epipodite, *expd* = exopodite, *prcox* = precoxa, *prep* = preepipodite (?), *prpd* = protopodite.

A special branchial epipodite is demonstrated in the maxilliped of the Cumacea (text-fig. 35 e). The figured appendage which normally is covered by another funnel-shaped epipodite (Sars 1900, Simon 1926), has a number of very characteristic lamellæ which Versluys and Demoll (1922) compared with the book-gills of the Xiphosura. The structures resembles to a certain extent the gill-blades of the trilobite appendage, but a jointed shaft is not present.

The precoxa, or the corresponding part of the body wall, also carries exites, preepipodites, which resemble the epipodites in shape and function (text-fig. 1). If we pay attention to a possible homology in the limb-segments of arthropods, the branchial, not jointed preepipodites of the crustaceans must be regarded as homologous with the gill-branch in the trilobite leg. It has to be mentioned, however, that Borradaile (1926) has tried to show that the three-segmented protopodite (sympod) is purely empirical so that the present correlation of the exites, therefore would be of little importance, but the constant structures in the primitive trilobites and the general correspondance in other arthropod appendages hardly favour this view.

Among the Crustacea, no preepipodite is apparently known which resembles the lateral branch of the trilobite leg. Text-fig. 35 e shows after Börner (1921) a presumed preepipodite in the maxilla of an Isopod (Hansen, however, regards the lobe as an epipodite, 1925 p. 119).

The crustacean endopodite generally consists of five segments, one less than the corresponding portion of the trilobite limb, but in the Malacostraca an additional segment, a preischiopodite, is present in certain primitive forms e. g. *Anaspides* of the Syncarida (not in *Koonunga* text-fig. 35 g). In the Syncarida, the precoxa is absent, but according to Hansen (1925 p. 102), this basal segment is probably incorporated in the body wall, and thus the appendage comprises nine segments such as in the trilobites. As mentioned, however, most crustaceans have eight segments only and if we should compare the trilobitan telopodite with the crustacean endopodite, the former had always more segments.

Raymond (1935 p. 216), admitting the more unique structures of the trilobite appendage, suggests that the crustacean exopodite represents parts of the shaft in the primitive trilobitan gill-branch which became much reduced when better methods of respiration evolved. The present studies have shown, however, that the trilobitan "exopodite" actually represents a preepipodite and a transmission therefore is hardly possible.

The comparison of appendages in Trilobita and Crustacea has demonstrated several important differences which seem to deny a closer relationship between the two groups of Arthropoda.

The Phylogenetic Significance of the Trilobite Limb.

The section-series of the thoracic appendages of *Ceraurus* have demonstrated in detail the structure of the trilobite limb, particularly the little-known basal portion and the somewhat disputed gill-blades. A study of other limb-bearing trilobites, mostly through the literature, has shown that all known trilobite appendages, even when they belong to very different groups and to different geological formations, were much alike and were constructed on a common plan. The trilobite limb was thus a very conservative structure showing little indication of considerable variation and specialisations such as has been the case with the limbs of Crustacea. The presence of typical trilobitan limbs in other arthropods of the Cambrian and Devonian has fully confirmed the assumption of the trilobite appendage as a characteristic and stable structure. Trilobite limbs in arthropods with very different dorsal shield and different habitats, clearly demonstrate the conservatism of the characteristic structure we know as the trilobite appendage.

A comparison with the Crustacea, to which the Trilobita generally are referred, shows little correspondance concerning the detailed structure of the limbs. While the two branches in the biramous crustacean limb are the endopodite and the exopodite, the branches in the trilobitan limb are formed by the coxa-telopodite and the preepipodite and thus are not homologous structures.

A comparison with the Chelicerata has demonstrated several common features which strongly indicate a relationship between Trilobita, Merostomata and Arachnida. Although a lateral branch rarely is retained in the appendages in the Chelicerata, its development in the abdomen of Xiphosura, Eurypterida, Scorpionida and Araneae demonstrates characteristic structures typical also of the trilobite limb. The present study has shown that the trilobite limb probably is to be regarded as a prototype of the appendages in the Arachnomorpha.

Among the Insecta, abdominal limbs have jointed lateral, appendages (styli) which may be homologous with the trilobitan preepipodites, and thus indicating certain affinities with the trilobites, but a closer determination of the appendages is not at present possible.

An attempt has been made in the present paper, to follow the development, modification and reduction of the trilobitan appendage through the various groups of the Arachnomorpha (and possibly the insecta). We may trace different evolutionary trends in which the telopodite, the preepipodite or the whole appendage becomes modified or reduced. Within one species, the appendages of the prosoma may developed along lines quite different from those of the abdomen and even within the abdomen, different modifications of the limbs occurred.

Among the Trilobita, the general structure of the appendage is not altered (with exception of antennæ and cerci), but we may distinguish two main types of preepipodites, the *Neolenus*-type which has a broad, lobe-shaped shaft, and the *Triarthrus*-type with its slender multi-jointed shaft.

In the "trilobitan" Cambrian arthropods the trilobite leg is maintained and both types of preepipodites are represented, but a reduction has already taken place in certain forms. In the cephalic (prosomal) region the preepipodites tend to become reduced and the telopodites are either retained as walking legs or become modified into antenna-like organs. In the abdomen of certain genera *Sidneya*, *Opabinia*, *Leanchoilia* (?) and *Waptia*, the telopodites have become reduced and the posterior segments may have no segments at all.

A reduction of the telopodites takes place in the evolutionary line leading to the formation of the plate-shaped abdominal appendages in the Merostomata. The abdominal limbs of the recent Xiphosura appear to be less specialized than the Paleozoic Eurypterida and the aquatic (?) Scorpionida. By attaining a terrestrial mode of life, the gill-appendages became invaginated forming the peculiar arachnid lungbooks which thus form the last step in this metamorphosis of the trilobitan preepipodite.

Another line leads to the combs af the scorpions. The earliest known (Silurian) scorpion show median structures which may be regarded as rudiments of telopodite or coxa, such as it is demonstrated already in *Waptia*. In the Late Paleozoic and recent forms only the lateral branch of the trilobite appendage is maintained. A similar line of development may have led to the formation of the spinnerets of the spiders. In the most primitive forms, remnants of the coxa may be seen in the cribellum median to the spinning appendages, conditions comparable with the combs of the earliest scorpions. Rudiments of the trilobitan preepipodite may possibly be traced in the cymatium of Acari and the lateral spur of the last prosomal leg in *Limulus*.

The telepodite is maintained as a walking leg in the prosomal region of the Chelicerata (telopodites without preepipodites are said to occur also in the thorax of *Waptia*, but it can hardly be decided from the material hitherto described). The more primitive merostomes and arachnids have a trilobitan type of telopodite, but a precoxa is only maintained in the Ixodidae of the Acari and possibly in the Xiphosura.

Concerning the origin of the trilobite appendage, the present material presents little information. In this connection it is necessary to mention the beautifully preserved annelids from the Middle Cambrian Burgess Shale (Walcott 1931). The highly interesting polychæt worms have not been studied in greater detail, but the presence of blade-shaped filaments instead of the common bristles points towards a possible connection with the Trilobita. Whether the annelids are true annelids or arthropods with secondarily reduced shell, it is not possible to decide with our present knowledge, but further studies of these interesting forms may possibly elucidate the origin of the trilobite appendage.

Literature to which Reference is made.

Beecher, C. E. 1893. On the thoracic leg of Triarthrus. Amer. Jour. Sci. (3) *46.*

— 1895 a. Further observation on the ventral structures of Triarthrus. Amer. Geol. *47.*

— 1895 b. Structures and appendages av Trinucleus. Amer. Jour. Sci. (3) *49.*

— 1896. The morphology of Triarthrus. Amer. Jour. Sci. (4) *1.* Geol. Mag. Dec. 4, *3.*

— 1902. The ventral integument of trilobites. Amer. Jour. Sci. (4) *13.* Geol. Mag. Dec. 4, *9.*

Bernard, H. M. 1894. The systematic position of trilobites. Quart. Jour. Geol. Soc. London. *50.*

Beurlen, K. 1930. Vergleichende Stammesgeschichte. Grundlagen, Methoden, Probleme unter besonderer Berücksichtigung der höheren Krebse. Fortschritte d. Geol. u. Palaeont. *8, 26.*;

— 1934. Die Pygaspiden, eine neue Crustaceen-(Entomostracen)-Gruppe aus den Mesosaurier führenden Iraty-Schichten Brasiliens. Palaeont. Zeitschr. *16.*

Billings, E. 1870. Notes on some specimens of Lower Silurian trilobites. Quart. Jour. Geol. Soc. London. *26.*

Börner, C. 1903. Die Beingliederung der Arthropoden. Sitzungs-Berichte Gesellschaft Naturforsch. Freunde, Berlin. Jahrg. 1903.

— Die Gliedmaßen der Arthropoden. Handb. Morph. Wirbellosen Tiere. Herausgeg. v. A. Lang u. K. Hescheler. *4.*

Borradaile, L. A. 1917. On the structure and functions of the mouthparts of Palaemonid Prawns, Proc. Zool. Soc. London 1917.

— 1926. Notes upon crustccean limbs. Ann. Mag. Nat. Hist. No. 98.

Broili, F. 1928. Beobachtungen an Nahecaris. Sitz.-Ber. M.-N. Abt. Bayerisch Akad. Wiss. 1928.

— 1929. Ein Trilobit mit Gliedermaßen aus Unterdevon der Rheinprovintz. Idem. 1929.

— 1930. Weitere Funde von Trilobiten mit Gliedermaßen aus dem Rheinischen unterdevon. Neues Jahrb. Min., Geol. u. Pal. Abt. B. *64.*

— 1932. Ein neuer Crustacea aus dem rheinischen Unterdevon. Sitz.-Ber. M. N. Abt. Bayerische Akad. Wiss. 1932.

— 1933. Ein zweites Exemplar von Chelonielion. Idem. 1933.

Brøgger, W. C. 1886. Über die Ausbildung des Hypostoms bei einigen Skandinavischen Asaphiden. Bihang. K. Svenska Vet. Akad. Handl. *2.*

Burmeister, H. 1843. Die Organisation der Trilobiten. Berlin.
Calman, W. T. 1919. The appendages of trilobites. Geol. Mag. *6.*
— 1926. The Rhynie Crustacean. Nature. *118.*
Carpenter, G. H. 1903. On the relationships between the classes of Arthropoda. Proc. Roy. Irish. Acad. *24.*
Clarke, T. H. 1922. A new trilobite appendage. Amer. Jour. Sci. *4.*
Coutière, H. 1919. Les membre des Arthropodes. Comptes Rendus Acad. Sci. *168.*
Dohrn, A. 1871. Zur Embryologie und Morphologie des Limulus polyphemus. Jenaischen Zeitschr. *6*, 4.
Dunbar, C. O. 1923. Kansas Permian Insects. Pt, 2. Paleolimulus, A new genus of Paleozoic Xiphosura, with notes on other genera. Amer. Jour. Sci. (5) *5.*
— 1925. Antennae in Olenellus getzi n. sp. Idem. (5) *9.*
Eriksson, E. 1934. Studien über die Fangapparate der Branchiopoden, nebst einigen phylogenetischen Bemerkungen. Zoolog. bidrag f. Uppsala. *15.*
Ewing, H. E. 1928. The legs and leg-bearing segments of some primitive arthropod groups, with notes on the leg segmentation in the Arachnida. Smithson. Misc. Coll. *80*, 11.
Fedotov, D. 1924. On the relations between the Crustacea, Trilobita, Merostomata and Arachnida. Bull. Acad. Sci. Russie (6) *18*,
Gerhardt, U. 1935. Merostoma. Handb. d. Zoologie. Herausgeg. von T. Krumbach. *3.* 2 Hälfte.
— u. Kästner, A. 1937—38. Araneae. Idem.
Giesbrecht, W. 1921. Crustacea. Handb. Morph. Wirbellosen Tiere. Herausgeg. v. A. Lang u. K. Hescheler. *4.*
Gottlieb, K. 1926. Über das Gehirn des Scorpions. Zeitschr. wiss. Zool. *127*, 3
Gürich, G. 1931. Mimaster hexagonalis, ein neuer Kruster aus dem unterdevonischen Bundenbacher Dachschiefer. Paleont. Zeitschr. *13.* (Mit nachtrag. Idem *13* u. *14*).
Handlirsch, A. 1926—27. Arthropoda. Handb. d. Zoologie. Horausgeg. T. Krumbach. *3.* 1 Hälfte.
Hansen, H. J. 1925. Studies on Arthropoda. Part II. Copenhagen.
— 1930. Studies on Arthropoda. Part III. Copenhagen.
Hanström, B. 1926 a. Eine genetische Studie über die Augen u. Sehzentren von Turbellarien, Anneliden, u. s. w. Kungl. Svenska Vet. Akad. Handl. *4*, 1.
— 1926 b. Das Nervensystem und die Sinnesorgane von Limulus polyphemus. Lunds Univ. Årskr. Avd. 2, *22.*
Henriksen, K. L. 1928. Critical notes upon some Cambrian Arthropodes described by Charles D. Walcott. Vid. Medd. Dansk Naturhist. Foren. *86.*
Hirst, St, 1923. On some Arachnid Remains from the Old Red Sandstone (Rhynie Chert Bed, Aberdeenshire). Ann. Mag. Nat. Hist. *12.*
Holm, G. 1898. Über die Organisation von *Eurypterus fischeri* Eichw. Mem. Acad. Imp. St. Petersburg. Ser. 8, *8*, 2.
Holmgren, N. 1916. Zur vergleich. Anatomie des Gehirns von Polychaeten u. s. w. Kungl. Svenska Vet. Akad. Handl. *56*, 1.
Hutchinson, G. E. 1930. Restudy of some Burgess Shale fossils. Proc. U. S. Nat. Mus. *78*, No. 11.

Jaekel, O. 1901. Über die Organisation der Trilobiten. Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesell. *53.*

Kästner, A. 1929. Bau und Funktion der Fächertracheen einiger Spinnen. Zeitschr. Morphol. u. Ökologie der Tiere. *13,* 3—4.

— 1931. Die Hüfte und Ihre Umformung zu Mundwerkzeugen bei den Arachniden. Idem. *22,* 4.

— 1932. Pedipalpi. Handb. d. Zoologie. Herausgeg. T. Krumbach. *3,* 2 Hälfte.

Kiær, J. 1916. The Lower Cambrian Holmia Fauna at Tømten in Norway. Vid.-Selsk. Skr. I. M.-N. Kl. 1916. No. 10.

Lankaster, E. R. 1881. Limulus an arachnid. Quart. Journ. Micr. Sci. *23.*

Lehmann, W. M. 1938. Die Anwendung der Röntgenstrahlen in der Paläontologie. Jahresber. Oberrhein. geol. Verein. *27.* N. F.

Matthew, W. D. 1893. On antannæ and other appendages of Triarhrus becki. Amer. Jour. Sci. (3) *46.*

Öpik, A. 1937. Trilobiten aus Estland. Publ. Geol. Inst. No. 52. Univ. Tartu. Acta et Comm. Univ. Tartuensis A 32, 3.

Packard, A. S. 1872. The development of Limulus polyphemus. Mem. Boston Soc. Nat. Hist. *2.*

Pocock, R. I. 1901. The Scottish Silurian Scorpion. Quart. Journ. Micr. Sci. *44.*

— 1911. Monograph of the Terrestrial Carboniferous Arachnida of Great Britain. Monographs Palaeontograph. Soc. 1919.

Pompeckj, J. F. 1912, Crustacea. Handwörterbuch d. Naturwiss. *2.*

Raymond, P. E. 1910. On two new trilobites from the Chazy near Ottawa, Ontario. Ottawa Naturalist. *24.*

— 1920. The Appendages, Anatomy and Relationship of Trilobita. Mem. Conn. Acad. *4.*

— 1929. A Lower Devonian Phacops with ventral appendages. Amer. Jour. Sci. *17.*

1935. Leanchoilia and other Mid-Cambrian Arthropoda. Bull. Mus. Comp. Zoölogy. *76,* No. 6.

Resser, C. E. 1929. New Lower and Middle Cambrian Crustacea. Proc. U. S. Nat. Mus. 76, 9.

— 1931. A new Middle Cambrian Merostome Crustacean. Proc. U. S. Nat. Mus. *79.*

Resser, C. E. and Howell, B. F. 1938. Lower Cambrian Olenellus Zone of the Appalachians. Bull. Geol. Soc. America. *49.*

Richter, R. 1926. Von Bau und Leben der Trilobiten. VI. Zool. Anzeiger *65.*

— 1932. Crustacea. Handwörterbuch d. Naturwiss. 2 Aufl. *2.*

Richter, R. und E. 1929. Weinbergina opitzi n. g. n. sp., ein Schwertträger (Merost., Xiphos.) aus dem Devon (Rheinland). Senckenbergiana. *11.*

Ruedemann, R. 1916. Palaeontologic Contributions from the New York State Museum. N. Y. State Mus. Bull. No. 189.

— 1926. The Utica and Lorraine Formations of New York. Pt. 2. Idem No. 272.

— 1931. Some new Middle Cambrian fossils from British Colombia. Proc. U. S. Nat. Mus. *79.*

Ruser, M. 1933. Beiträge zur Kenntnis des Chitins und der Muskulatur der Zecken (Ixodidae). Zeitschr. Morphol. Ökol. d. Tiere. *27,* 2.

Sars, G. O. 1900. An account of the Crustacea of Norway. *3.* Cumacea. Bergen.

Savory, T. H. 1935. The Arachnida. London.

Schuchert, C. 1919. Amer. Jour. Sci. (4), *47.*

Schulze, P. 1932. Über die Körpergliederung der Zecken, die Zusammensetzung des Gnathosoma und die Beziehungen der Ixodidea zu den fossilen Anthracomarti. Sitz.-ber. u. Abhandl. Naturforsch. Gesellsch. Rostock. *3*, 1930—1932.

— 1936. Trilobita, Xiphosura, Acarina. Eine morphologische Untersuchung über Plangleichheit zwischen Trilobiten und Spinnentieren. Zeitschr. Morphol. u. Ökol. d. Tiere. *32*, 2.

Scourfield, D, J. 1926. On a new type of Crustacean from the Old Red Sandstone (Rhynie Chert Bed, Aberdeenshire). Phil. Trans. Roy. Soc. London. (B) *214.*

Simon, H. 1926. Der Kiemen-apparat der Cumaceen. Zeitschr. Morphol. u. Ökol. d. Tiere. *6.*

Snodgrass, R. E. 1931. Morphology of the insect abdomen. Part I. General structure of the abdomen and its appendages. Smithson. Misc. Coll. *85*, 6.

— 1933. Morphology of the insect abdomen. Part II. The genital ducts and the ovipositor. Idem. *89*, 8.

— 1935. Principles of insect morphology. New York.

— 1936. Morphology of the insect abdomen. Part III. The male genitalia (including arthropods other than insects). Smithson. Misc. Coll. *95*, 14.

— 1938. Evolution of the Annelida, Onychophora, and Arthropoda. Idem. *97*, 6.

Steinmann, G. u. Elberskirch, W. 1929. Neue bemerkenswerte Funde im ältesten Unterdevon des Wahnbachtales bei Siegburg. Ber. Vers. niederrh. geol. Ver. im Sitz.-ber. naturhist. Ver. Rheinld. Westf. 1928 C.

Storch, H. 1925. Über Bau Funktion der Trilobitengliedmassen. Zeitschr. Wiss. Zool. *125.*

— 1926. Zur Frage der Deutung Trilobitengliedmassen, eine Erwiderung auf R. Richter's Artikel etc. Zool. Anz. *67.*

Størmer, Leif. 1930. Scandinavian Trinucleidae Skr. Vid.-Akad. Oslo. I. M.-N. Kl. 1930. No. 4.

— 1933. Are the trilobites related to the arachnids? Amer. Jour. Sci. *26.*

— 1934 a. Merostomata from the Downtonian Sandstone of Ringerike, Norway. Skr. Vid.-Akad. Oslo. I. M.-N. Kl. 1933. No. 10.

— 1934 b. Downtonian Merostomata from Spitsbergen, with Remarks on the Suborder Synziphosura. Idem. 1934. No. 3.

— 1936. Eurypteriden aus dem Rheinischen Unterdevon. Abhandl. Preuss. Geol. Landesanstalt. N. F. H. 175.

Stubblefield, C. J. 1926. Notes on the development of a trilobite, Shumardia pusilla (Sars). Jour. Linn. Soc. (zool.) *36.*

Thiele, J. 1926—27. Leptostraca. Handbuch d. Zoologie. Herausgeg. von T. Krumbach. *3*, 1. Hälfte.

Versluys, J. und Demoll, R. 1922. Das Limulus-Problem. Die Verwandt-schaftsbeziehungen der Merostomen und Arachnoideen unter sich und mit anderen Arthropoden. Ergebn. u. Fortschr. d. Zoologie. *5.* 1—3.

Walcott, C. D. 1879. Notes upon the legs of trilobites. 31st Rept. New York State Mus. Nat. Hist.

— 1881. The Trilobite: New and old evidence relating to its organization· Bull. Mus. Comp. Zoöl. *8.*

— 1894. Note of some appendages of the trilobite. Proc. Biol. Soc. Washington *9.* Geol. Mag. (4) *1.*

— 1911. Middle Cambrian Merostomata. Smithson. Misc. Coll. *57,* 2.

— 1912. Middle Cambrian Branchiopoda, Malacostraca, Trilobita, and Merostomata. Idem. 6.

— 1918. Appendages of trilobites. Idem. *67,* 4.

— 1921. Notes on structure of Neolenus. Idem. 7.

— 1931. Addenda to description of Burgess Shale fossils. Edit, C. E. Resser. Idem. *85,* 3.

Warburg, E. 1925. The trilobites of the Leptæna Limestone in Dalarne. Bull. Geol. Inst. Uppsala. *17.*

Westergård, A. H. 1909. Studier öfver Dictyograptusskiffern och dess gränslager. Medd. Lunds Geol. Fältklubb. Ser. B. No. 4.

— 1936. Paradoxides oelandicus Beds. of Öland. Sveriges Geol. Undersökn. Ser. C. No. 394.

Whitfield, R. P. 1882. Palaeontology. Geology of Wisconsin. *4.* Survey of 1873—79, Part 3.

Wills, L. J. 1933. Notes on a rare carboniferous scorpion from the Oranje Nassau Mine No. III. Geol. Bureau Heerlen. Jaarverslag over 1933.

Zimmer, C. 1927. Crustacea. Handbuch d. Zoologie. Herausgeg. von T. Krumbach. *3.* 1. Hälfte.

Printed April 27th, 1939.

EXPLANATION OF PLATES

Pl. 1—4.

Section-series of *Ceraurus pleurexanthemus* Green from the Middle Ordovician Trenton Limestone, Trenton Falls, New York State, U. S. A.; Walcott's Collection. The grinding-series, Ser. C, demonstrates, in ventral view, the appendages and the corresponding thoracic segments of an enrolled specimen with a length about 26 mm. Magnification 5 ×. Pl. 1, 2 show chiefly the walking legs (telopodites) and the coxæ, and pl. 3, 4 the precoxæ and the gill-branches (preepipodites)

Text-fig. 8, 9 illustrates the series. The numbers give the section-numbers of Ser. C.

I—V = thoracic segments and corresponding appendages. 1—5 = segments of preepipodite, *ap* = appendifer, *ar* = articulation, *ax* = axis, *c* = coxa, *d* = dissolved part, *f* = gill-blades or filaments, *fb* = foreign body, *isg* = intersegmental fold, *mc* = mud-filled cavity, *pc* = precoxa, *pf* = pleural furrow, *pl* = pleura, *pp* = preepipodite, *ps* = pleural spine, *tp* = telopodite.

The measured distances (small numbers) between each photographed section are given in 1/10000 of an inch (section-numbers printed in larger numbers):

Ser. C. 1 23 2 24 3 11 4 21 5 15 7 27 9 13 10 19 11 15 12 10 13 17 14 12 15 13 17 9 17a 30
18 24 19 23 20 36 21 19 22 14 23 15 24 28 25 18 26 23 27 37 28 26 29 26 30 26
31 26 32 32 33 22 34 29 35 21 36 12 37 20 38 25 39 24 40 35 41 28 42 26 43 24
44 25 45 24 46 23 47 34 48 26 49 27 50 31 51 19 52 23 53 23 54 22 55 27 56 16
57 34 58 21 59 51 60 46 61 62 62 46 63 62 64 56 65.
25 = 0,0025 inch = 0,0635 mm.

Pl. 5—8.

Wax models of three thoracic appendages in *Ceraurus pleurexanthemus* Green. Appendages II, III, IV of Ser. C (only fragments of walking legs or telopodites). Magnification about 16 ×. Pl. 5 = dorsal view; pl. 6 = ventral view; pl. 7 = anterior (A), posterior (B) and post-ventral (C) views of appendage III; pl. 8 = anterior (A) and posterior (B) views of II, and posterior (C) and anterior (D) views of IV.

II—V = appendages belonging to the thoracic segment of the corresponding No. in the series. 1—5 = segments of gill-branch or preepipodite, *alp* = antelateral process of coxa, *bnd* = basendite, *cl* = condylus, *cox* = coxa, *d* = dissolved part, *fil* = gill-blades or filaments, *plp* = postlateral process of coxa, *prcox* = precoxa, *pvp* = postventral process of coxa, *tlpd* = telopodite, *vm* = ventral membrane of thorax.

Pl. 9.

Section-series of *Ceraurus pleurexanthemus* Green from the Middle Ordovician Trenton Limestone, Trenton Falls, New York State, U. S. A.; Walcott's Collection. The grinding series, Ser. A, demonstrates the structures of the gill-blades or filaments in an enrolled specimen cut longitudinally across the pleuræ and pleural spines. Magnification 4,8 ×. (Three sections shown on pl, 10). Nos. = section-numbers.

The measured distances (small numbers) between each photographed section are given in 1/10000 of an inch (section numbers printed in larger numbers):

Ser. A. 1 16 3 15 4 10 5 11 6 26 7 14 8 21 9 20 10 24 11 32 12 24 13 28 14 28 15 34 16 35
17 29 18 21 19 31 20 22 21 30 22 38 23 17 24 20 25 18 26 13 27 25 28 24 29 25
30 22 31 58 32 29 33 31 34 47 35. 25 = 0,0025 inch = 0,0635 mm.

Pl. 10.

Fig. 1—3. Section-series of *Ceraurus pleurexanthemus* Green. Continuation of Cer. A figured on pl. 9.

„ 4. Photograph of glass model of Ser. C. (in dorsal view), (comp. pl. 1—4, text-fig. 8, 9). In the model the different appendages are outlined with different colours (pencil) so it appears less complicated than in the photograph. II—III = appendages, 1—5 = segments of preepipodite, *ar* = articulation, *fil* = gill-blades or filaments, *pc* = precoxa, *pl* = pleura, *pp* = preepipodite, *ps* = pleural spine.

„ 5—7. Abdominal appendages of *Limulus polyphemus* (Linn) (= *Xiphosura polyphemus* (Linn)). 5 = lateral view of three gill-appendages with lateral portion of abdominal shield removed. 6 = Dorsal view of the same specimen. 7 = gill-appendage in dorsal (internal) view. Photograps of dried specimens whitened with ammonium cloride.

„ 8. Plaster model of gill-blades (filaments) in *Ceraurus pleurexanthemus* Green. Ser. A. Magnified 13 ×. (Comp. text-fig. 11, 12, pl. 9, 10 fig. 1—3).

Pl. 11.

Reconstruction of two thoracic segments in *Ceraurus pleurexanthemus* Green from the Middle Ordovician Trenton Limestone, Trenton Falls, N. Y., U. S. A. On the right side (left in figure) the ventral parts are removed in order to demonstrate the inner surface of the tergites.

a = ventral view, b = anterior view. c, d diagrammatic longitudinal sections indicating certain muscles. c = median section showing the dorsal and ventral longitudinal muscles. d = Somewhat composite section through the appendifers and basal segments of the appendages.

1—7 = segments of walking leg (telopodite) and of gill-branch (preepipodite), *app* = appendifer, *arhr* = articulating half ring, *artf* = articulating furrow, *axf* = axial furrow, *axp* = axial process, *c* = condylus, *cox* = coxa, *dlm* = dorsal longitudinal muscle, *fil* = gill-blades or filaments, *isg* = intersegmental furrow, *isgm* = intersegmental membrane, *pdpl* = posterior doublure of axis, *plsp* = pleural spine, *rm* = remotor muscle of appendages, *seg* = primary segment, *tlpd* = telopodite, *vm* = ventral membrane, x, y, z = sockets for articulation, x_1, y_1, z_1 processes (condyli) for articulation.

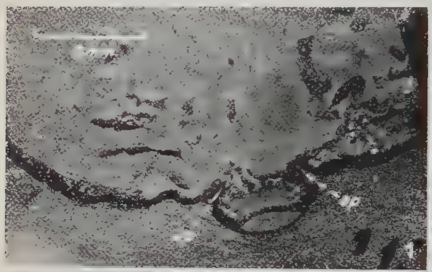
Pl. 12.

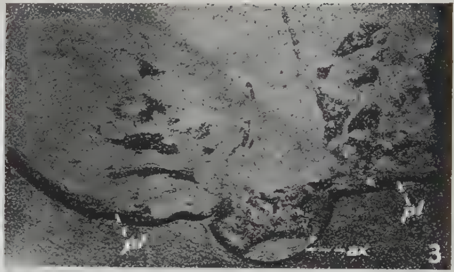
Fig. 1, 2. *Phacops* sp., from the Lower Devonian Huhnsrücken Shale, Bundenbach, Germany. Natural size. Ventral view of limbbearing specimen (comp. text-fig. 26). No. A 24413 Coll. Pal. Mus. Oslo. Fig. 1 photographed with red filter. Fig. 2 = x-ray photograph taken at the Red Cross Hospital in Oslo. *an* = antenna, only visible in the x-ray photograph, *ap* = appendifer, *cp* = posterior cephalic walking leg, *le* = lateral eye, only visible in the x-ray photograph, *mts* = metastoma, *tlpd* = telopodite or walking leg.

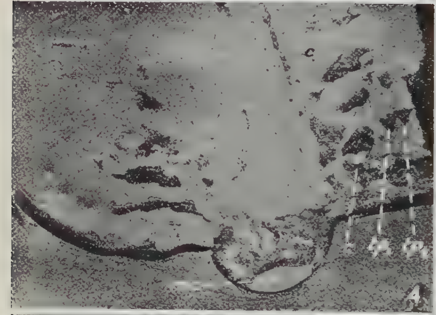
„ 3. *Leanchoilia superlata* Walcott; from the Middle Cambrian Burgess Shale, Burgess Pass, British Clumbia, Canada. Magnified 1, 5 ×. Dorso-lateral view of limb-bearing specimen (comp. text-fig. 30 e). No. A 5116 Coll. Pal. Mus. Oslo, Walcott coll. Photographed in alcohol with reflected light. *ax* = axis, *c* = cephalon, *ds* = distal segment of gill-branch or preepipodite, *fil* = gill-blades or filaments, *ga* = “great appendage” of cephalon, *pl* = pleura, *pp* = gill-branch or preepipodite, *r* = rostrum, t_1 = first tergite, *ts* = telson.

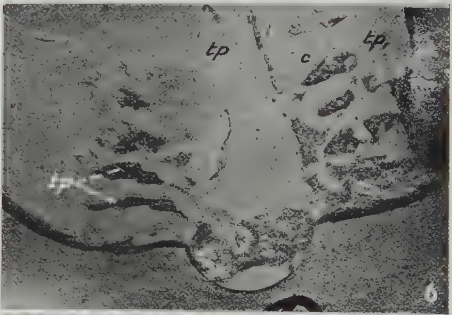
PLATES

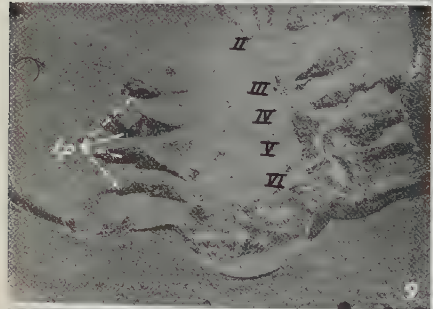
PHOTOGRAPHS NOT RETOUCHED

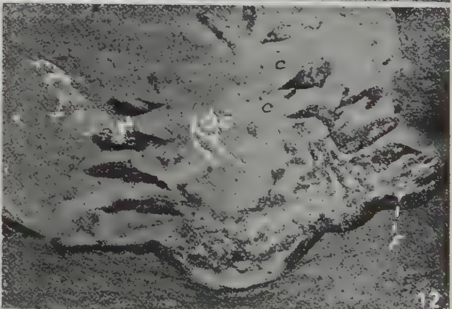

sp
1

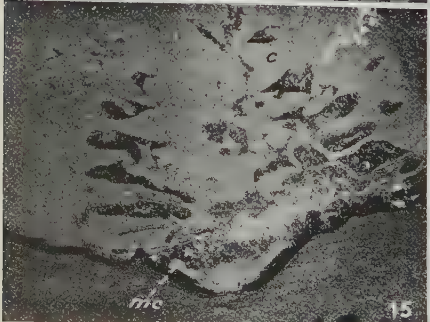

pl
pl
ax
3

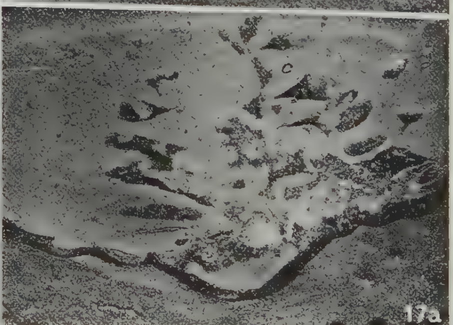

c
tp
tp
tp1
4

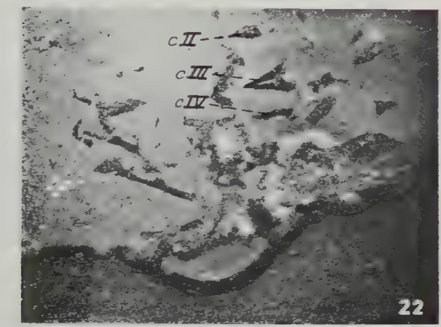

tp
c
tp1
tp
6

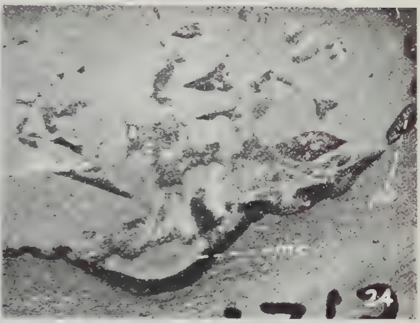

II
III
IV
V
VI
tp
9

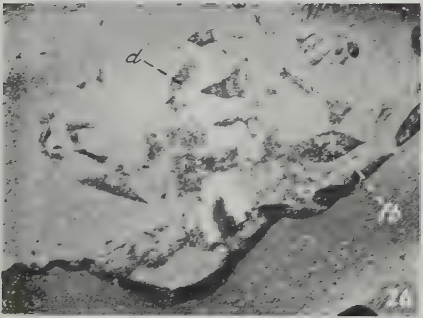

c
c
r
12

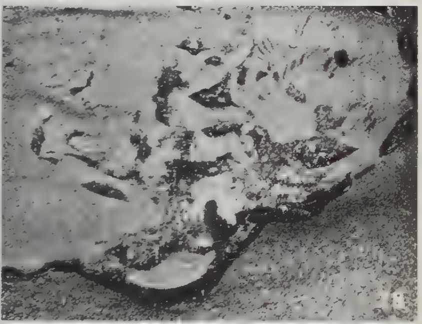

c
mc
15

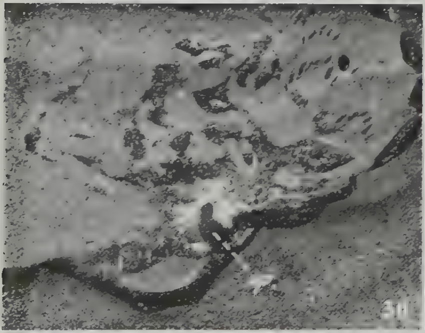

c
17a

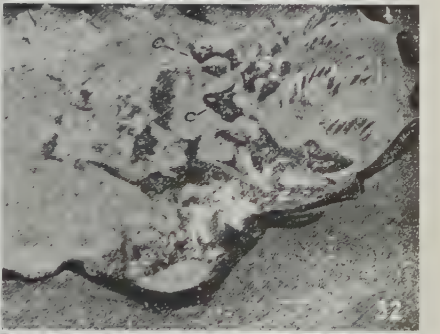

cII
cIII
cIV
22

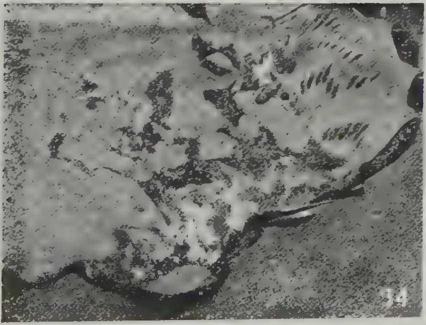

ms
24

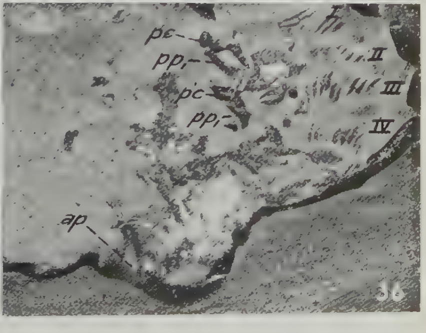

d
26

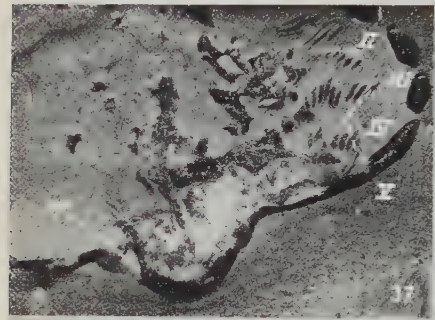

28


30

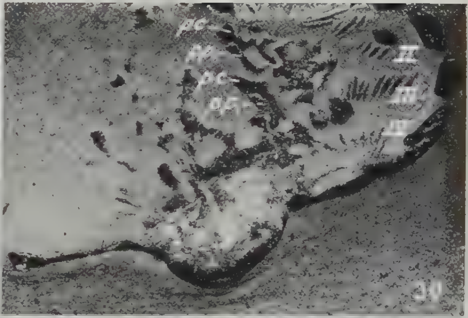

c
c
32


34

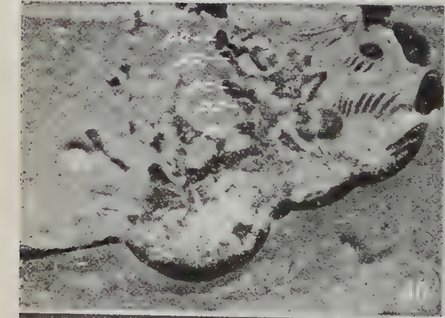

pe
pp1
pc
pp1
II
III
IV
ap
36

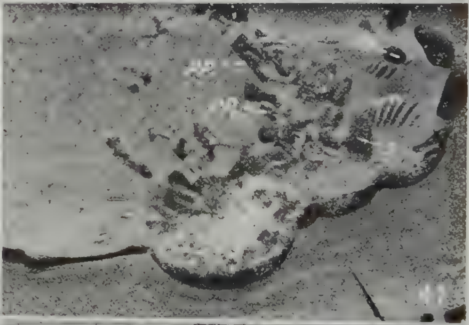


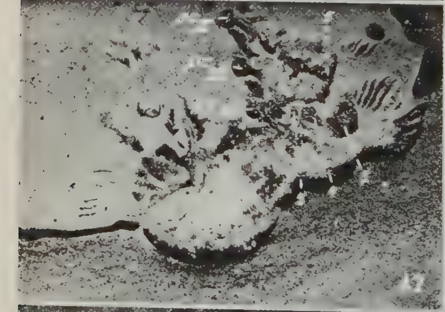
38

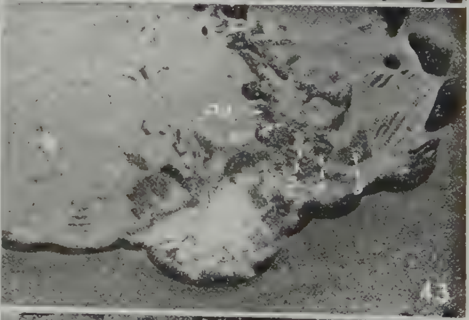


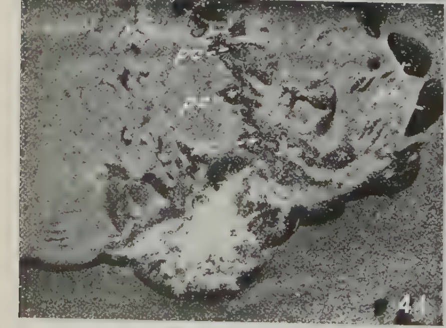
39

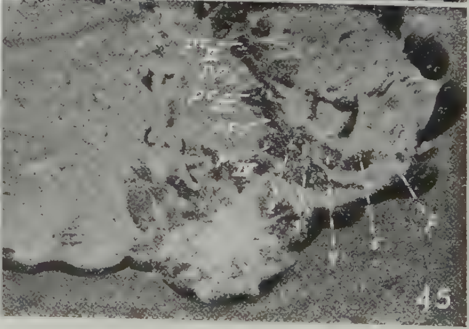

40

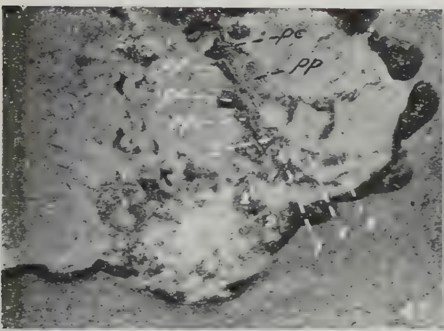

41

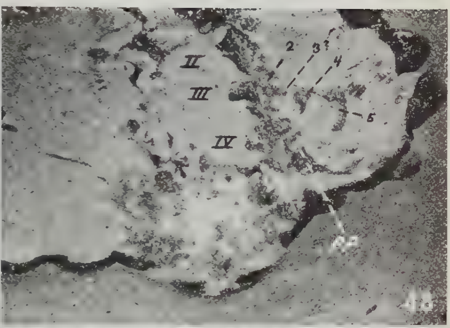

42

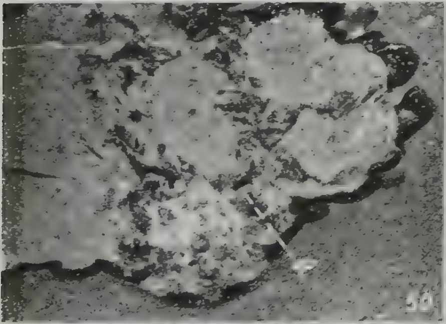

43

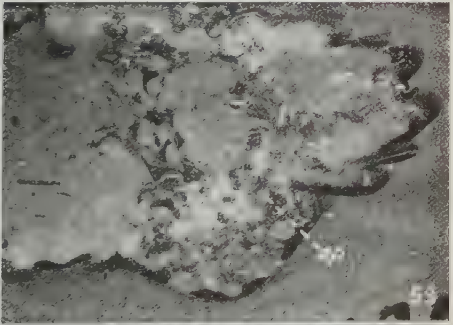

44

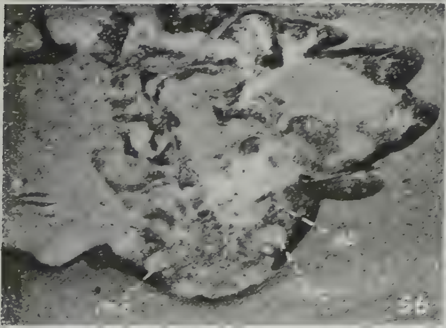

45

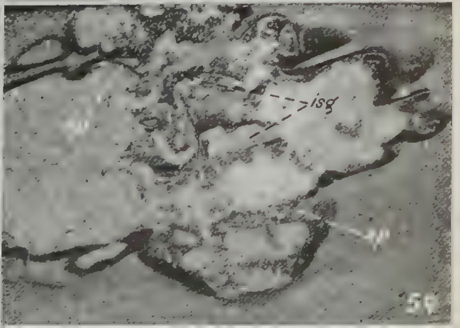

47

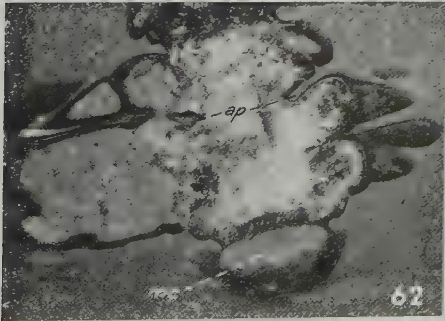

48

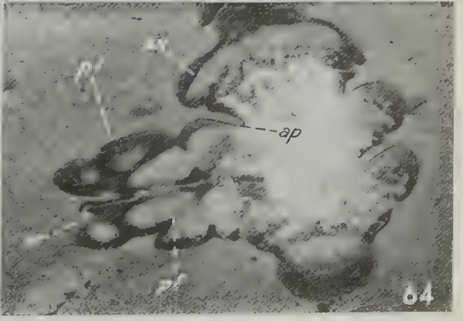

50


53

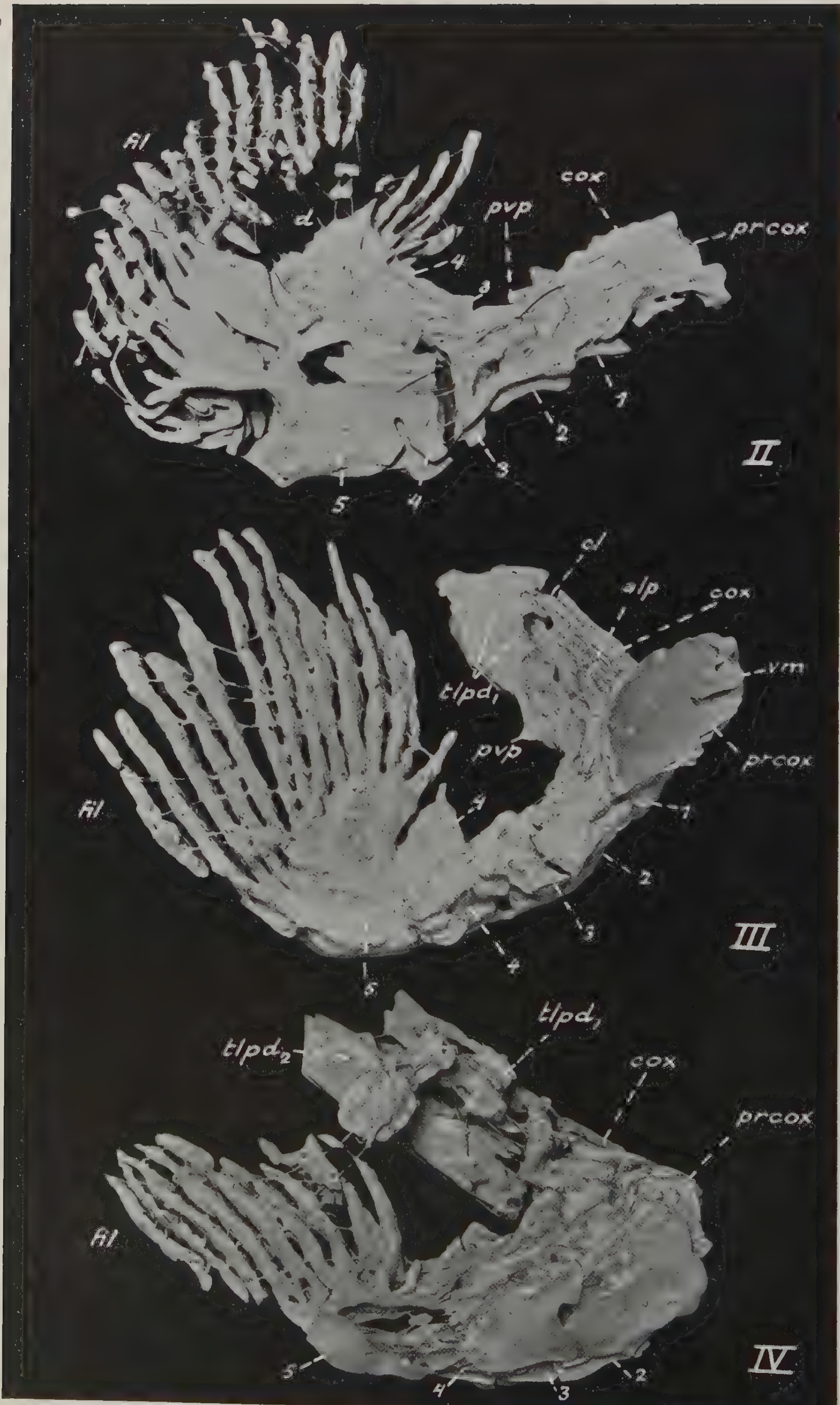

56


59

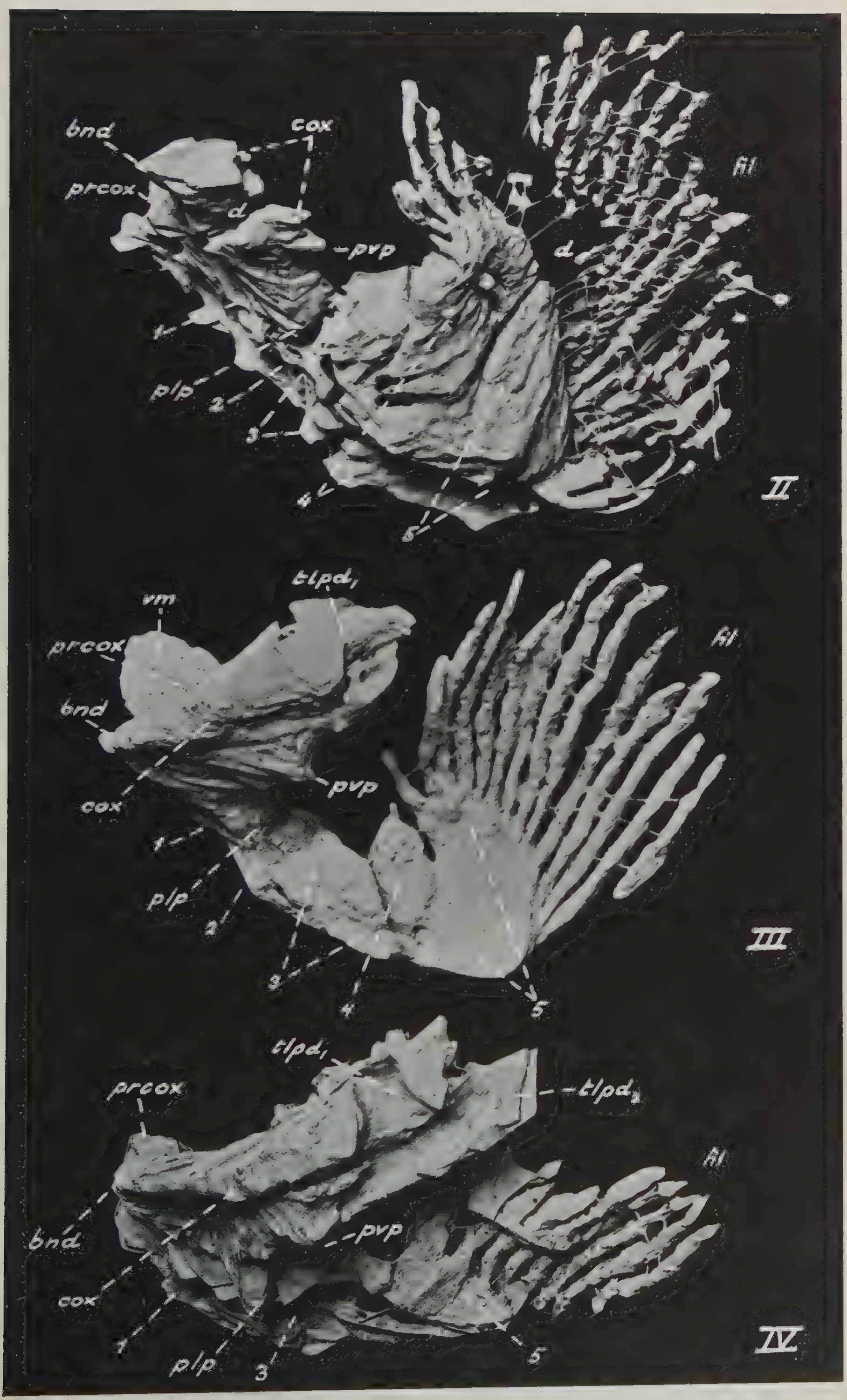

62

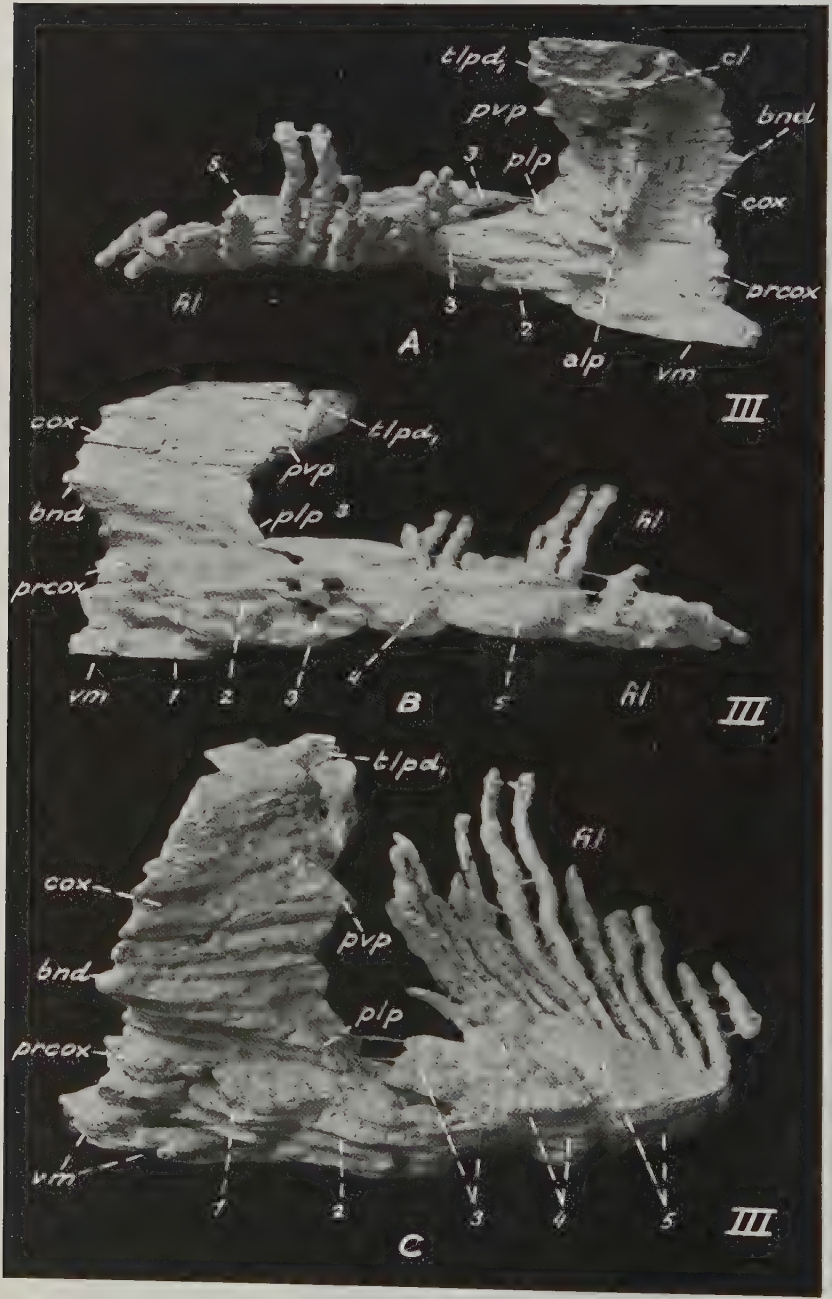

64

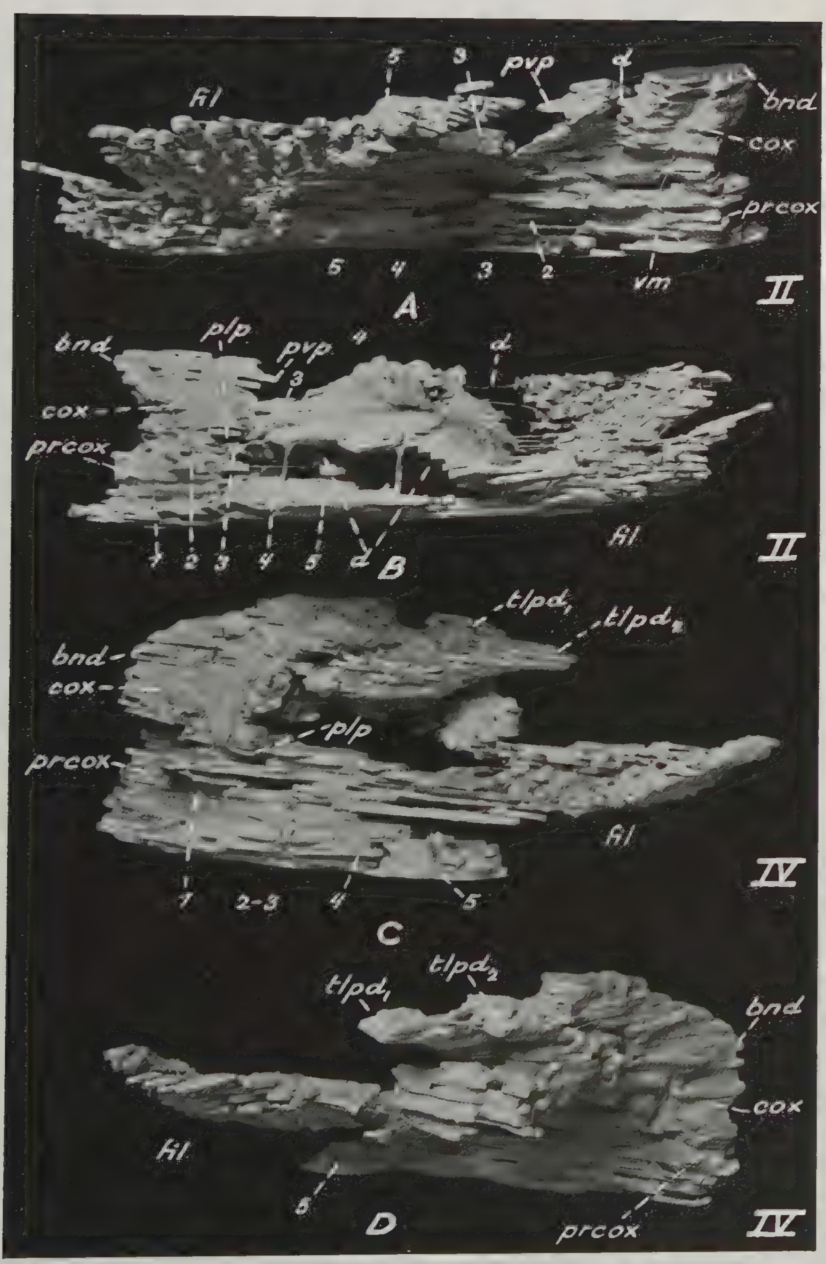
Pl. 5

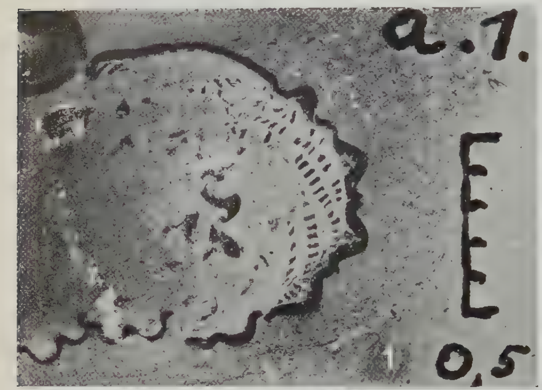


Fl
d
cox
pvp
prcox
4
a
1
2
3
5
4
II
d
alp
cox
vm
tlpd$_1$
pvp
prcox
Fl
a
1
2
3
4
6
III
tlpd$_1$
tlpd$_2$
cox
prcox
Fl
5
4
3
2
IV

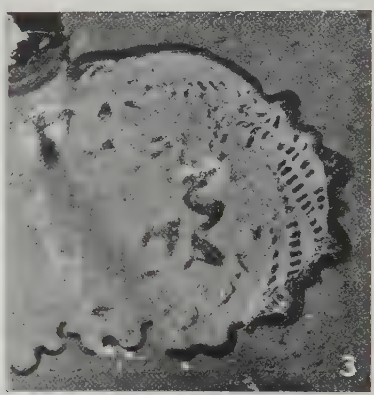

bnd
cox
prcox
d
pvp
fil
d
1
plp
2
3
4
5
II
tlpd$_1$
vm
prcox
fil
bnd
pvp
cox
1
plp
2
3
4
5
III
tlpd$_1$
prcox
tlpd$_2$
fil
bnd
pvp
cox
1
plp
3
5
IV


tlpd$_1$
cl
pvp
bnd
3
plp
5
cox
prcox
fil
3
2
A
alp
vm
III
cox
tlpd$_1$
pvp
bnd
plp
3
fil
prcox
vm
1
2
3
4
5
B
fil
III
tlpd$_1$
fil
cox
pvp
bnd
plp
prcox
vm
1
2
3
4
5
C
III

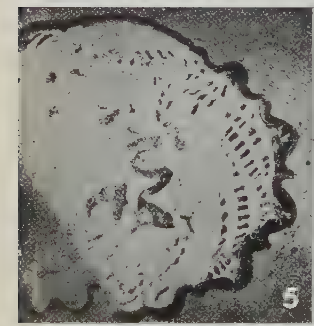

5
3
pvp
d
fil
bnd
cox
prcox
5
4
3
2
vm
A
II
bnd
plp
pvp
4
3
d
cox
prcox
1
2
3
4
5
d
B
fil
II
$tlpd_1$
$tlpd_2$
bnd
cox
plp
prcox
fil
1
2-3
4
5
C
IV
$tlpd_1$
$tlpd_2$
bnd
cox
fil
6
D
prcox
IV



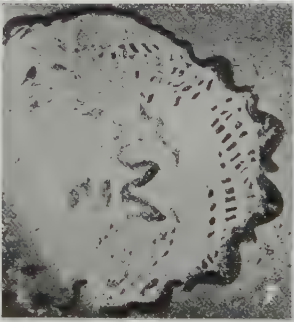
1



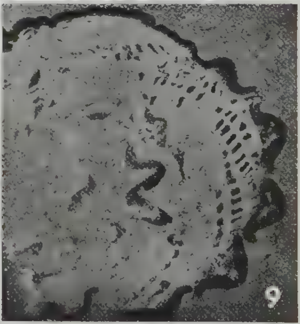
3



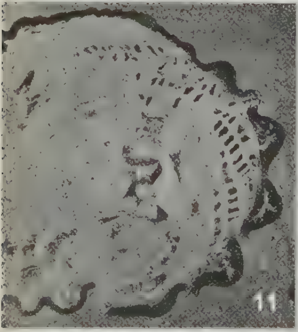
5



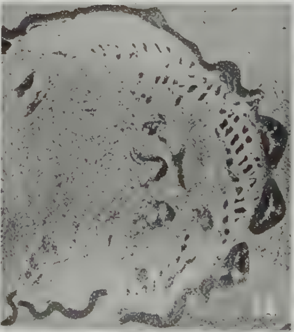
7



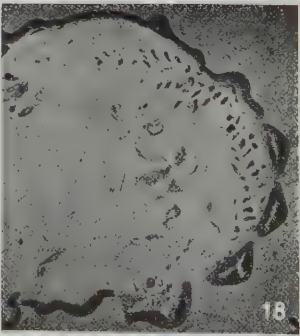
9



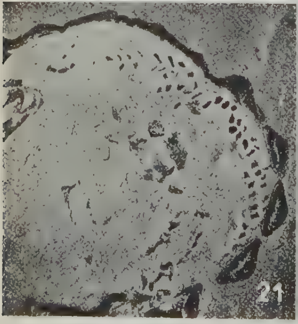
11



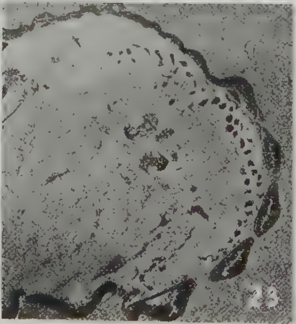
11



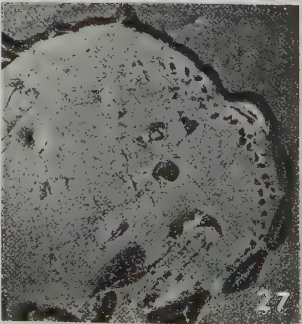
18



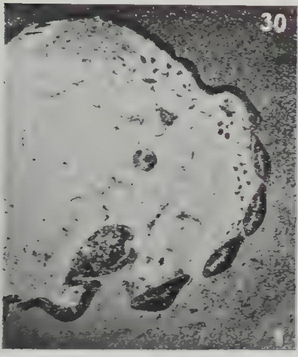
21



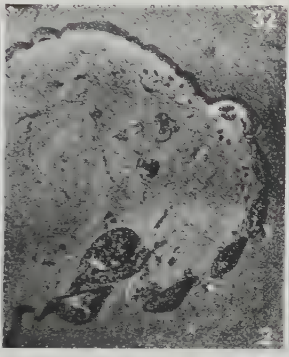
23



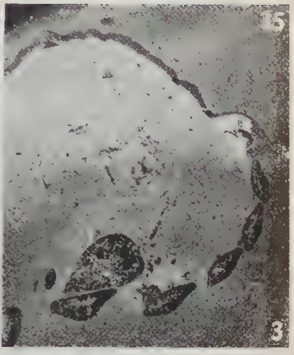
27


30

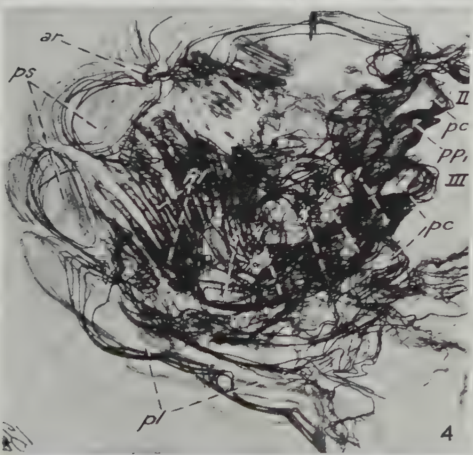
1


32

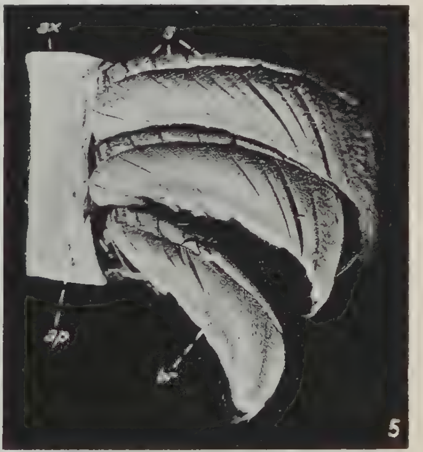
2


35

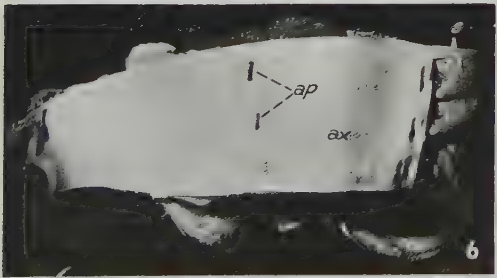
3


ar
ps
II
pc
pp1
III
pc
pl

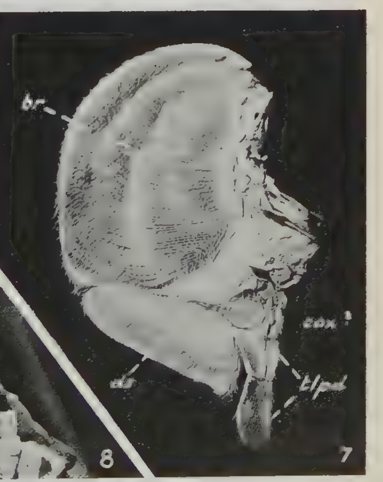
4


ax
s
ap
ds

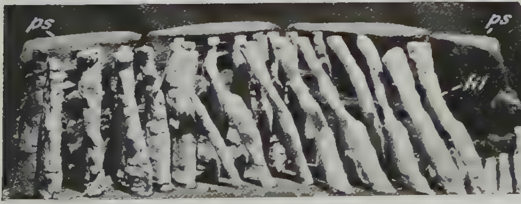
5


s
ap
ax

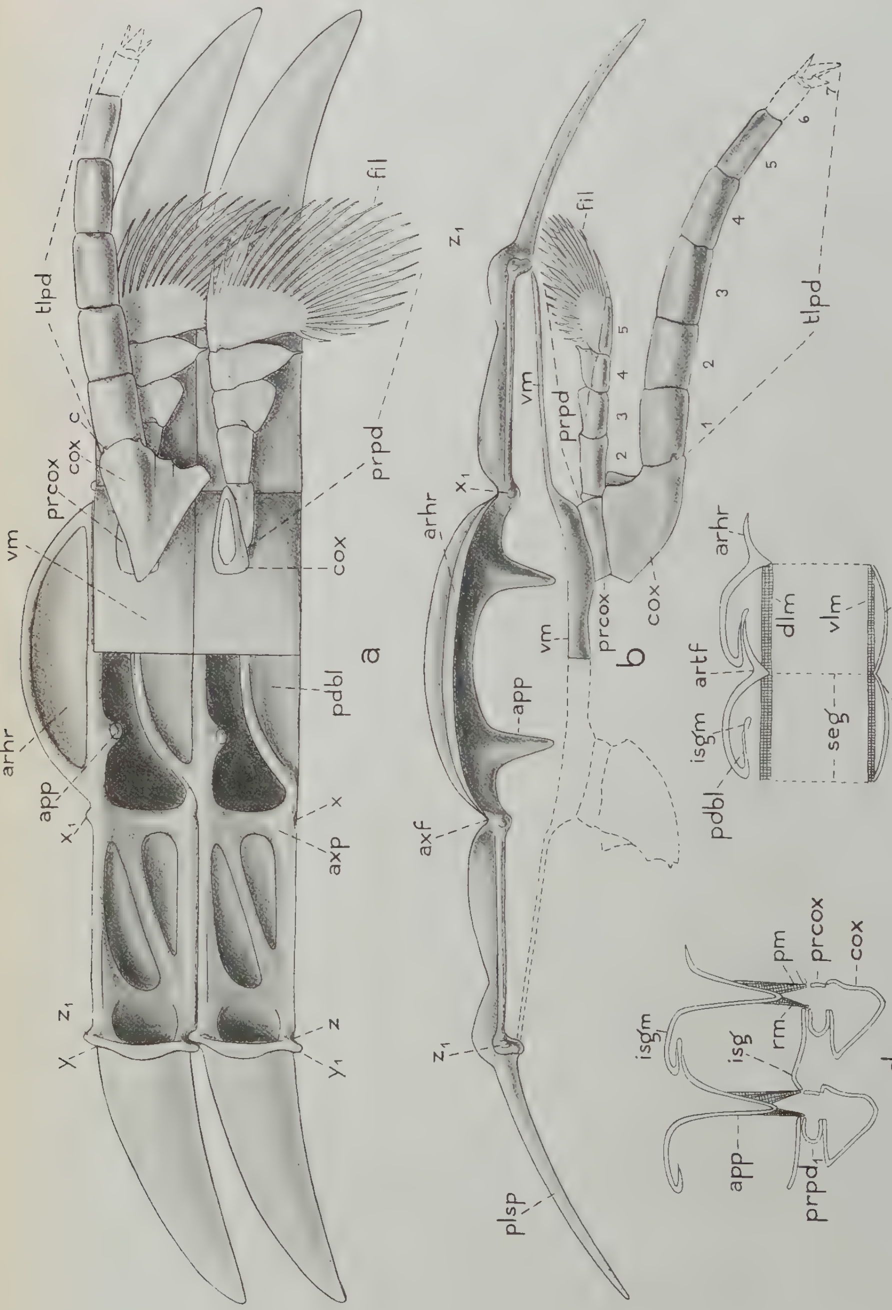
6

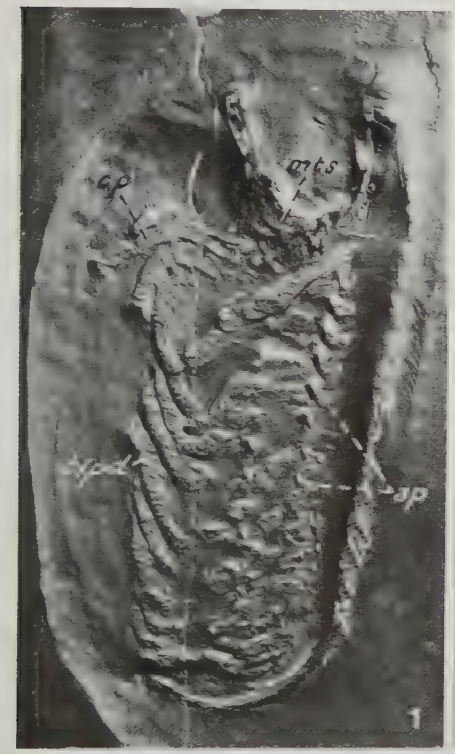

br
cox
tl
ds

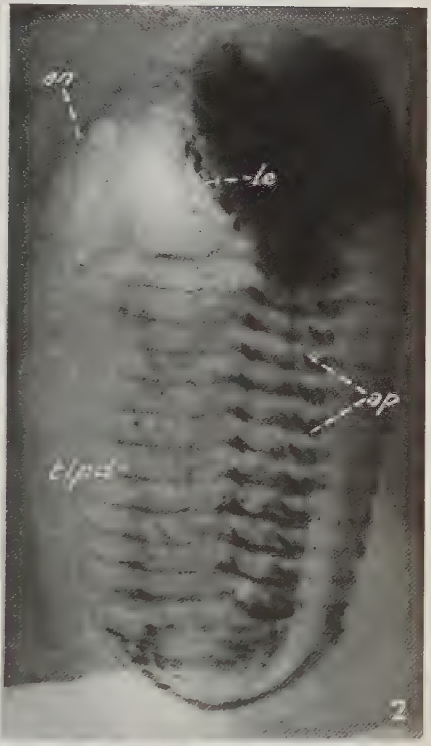
7

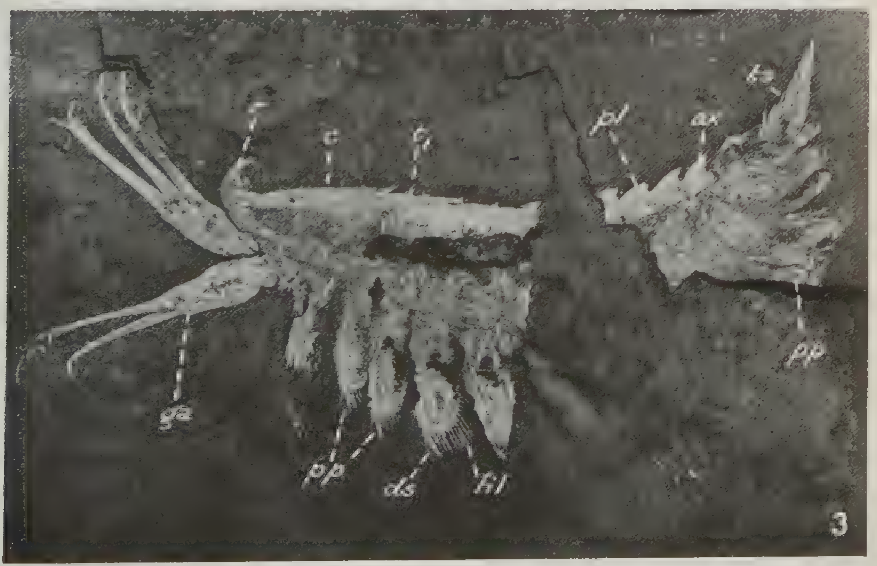

ps
ps
fil

8


a
tlpd
c
cox
prcox
vm
arhr
app
x₁
X
z₁
prpd
fil
cox
pdbl
x
axp
z
Y₁
b
z₁
fil
vm
prpd
x₁
arhr
app
axf
vm
prcox
cox
tlpd
1
2
3
4
5
6
7
2
3
4
5
plsp
c
arhr
dlm
vlm
vm
artf
isgm
seg
isg
pdbl
d
isgm
isg
pm
prcox
cox
rm
app
prpd₁


ap
mts
ap
1


an
le
ap
2


r
c
fi
pl
ax
ts
ga
pp
ds
fil
pp
3

THE SILURIAN ILLAENIDS OF THE OSLO REGION

BY

W. F. WHITTARD

WITH 4 PLATES

Contents.

Page
Introduction 275
Illustration of Illaenids 276
Stratigraphical Considerations 277
Description of the Species 278
Types of Pygidia of Undescribed Species 292
Literature 295
Explanation of Plates I—IV.

Introduction.

The illaenid collection, which comprises about 550 specimens housed in the Paleontologisk Museum, Oslo, was almost entirely obtained by Kiær during his investigations of the Silurian stratigraphy of the Oslo district. Towards the end of his classical memoir Kiær gave short descriptions, but without illustrations, of five new species of *Illaenus* and six new species and one variety of *Bumastus*, all of which had proved useful as indices of age (1908, pp. 571—578). His intention was to produce an amply illustrated monograph, and several photographs and drawings were made, a number of specimens were expertly prepared from technically difficult rock, and nearly one third of the collection was provisionally identified. Before the monograph was completed, Kiær's interest was diverted to Devonian vertebrates and to the fossiliferous Cambrian rocks of Tømten, and he never returned to finish his research.

Owing to a certain amount of confusion regarding those of Kiær's labels on which specific names alone were written,[1] I have not been able to trace all his new species, while there are others which in my opinion are insufficiently preserved to warrant description.

---

[1] The labels giving information of the horizons and localities have not been confused.

Thus of his list, *Illaenus rotundus*, *I. sculptus*, *I. longispinosus*, *I. postremus*, *Bumastus depressus*, *B. longicaudatus*, and *B. inflatus* are described, but *I. brøggeri, B. brevis, B. perbrevis*, and *B. sulcatus*, var. *convexus* have not been recognized; *B. praeruptus* of Kiær, is considered to be synonymous with *B. bouchardi* and one new species, *I. norvegicus*, and one new variety, *B. sulcatus*, var. *kiaeri*, are added to the list. Furthermore, in his short diagnoses, Kiær described pygidia and cranidia under the same name when there is no real evidence that they belong to the same species. Several excellently preserved cephala, cranidia and pygidia are present in the collection but the majority of the material is fragmentary. The pygidia of *I. rotundus*, *I. sculptus*, and *B. sulcatus*, var. *kiaeri* are definitely known, but in all cases where there is no indication that a pygidium actually belongs to a certain cranidium, I have preferred to allocate no name to the pygidium but to describe it as Type A and so on to Type F. Such a procedure dispenses with the possibility of confusion likely to arise by mixing pygidia and cranidia of different species.

There are a few more species represented in the collection than are described in this paper, but the material is either too poorly preserved or I have hesitated to erect new terms when, as in some cases, a single specimen is available.

My thanks are due to Dr. Anatol Heintz and Dr. Leif Størmer for providing the opportunity for studying the collection, to Mr. F. W. Anderson, Dr. J. Koliha, Dr. Stensiö, and Mr. T. H. Withers for the loan of specimens, to Mr. E. W. Seavill for assistance with the photographic work, and to the Colston Research Society of the University of Bristol.

Illustration of Illaenids.

The form of the longitudinal profile of the cranidium, and particularly the convexity, is useful in the separation of many species, but it is difficult to find a datum line for all illaenids from which convexities can be compared. Thoughout this paper the cranidium is orientated so that in side view the plane of the posterior margin of the fused occipital ring and glabella appears vertical, but it is not claimed that such a position was the usual one during life. If all illaenid profiles were so arranged it would make their comparison much simpler to effect.

Authors have not been consistent concerning the direction from which the top surface of the cranidium has been drawn or photographed. As there is no commonly accepted standard direction in which this surface should be viewed, many illustrations lose some of their usefulness for comparative study, for so many of the species are strongly convex and appear quite different when examined in slightly varying directions. Consequently, unless otherwise stated, all illustrations of the top surface of the cranidium have been obtained at right angles to a line joining the mid-points of the anterior and posterior margins; with regard to the pygidia, they have been photographed at right angles to the plane which includes the lateral and posterior margins.

Stratigraphical Considerations.

The Silurian rocks of the Oslo region were at first divided by Kiær into four stages which he numbered 6 to 9, and in each of which several zones were recognized. Later, he included the Zone of Meristella crassa (5 b) in the System, a practice now usually adopted, and recently further supported by the researches of St. Joseph who has described three pentamerids from this horizon (1938, p. 258). St. Joseph also considers that the brachiopod assemblages suggest that the lowest beds of the Lower Llandovery are unrepresented in the Oslo district, and he tentatively correlates Zone 5 b with the topmost Lower Llandovery, and Zones 6 a—6 c with the Middle Llandovery. By comparison with the time ranges of the few fossils selected by St. Joseph from the Llandovery rocks of Britain, there is certainly justification for the arguments which he advances, but I do not consider that Kiær's correlations of the Llandovery beds have yet been absolutely disproved, for possibly these few species may have different time-values in the Oslo succession. A thorough revision of the brachiopod fauna is urgently required, and, for the present, Kiær's correlations are employed in the present paper with the understanding that some of them may have to be adjusted in the light of future researches.

With the possible exception of *Bumastus bouchardi*, none of the illaenid species extends beyond the limits of any of the major divisions of the Silurian. The Llandovery rocks are most prolific of species and individuals; *Illaenus rotundus* and *I. sculptus* appear to be good indices of a Lower Llandovery age, both *I. norvegicus* and *B. depressus* are restricted to the Llandovery as a whole, and *B. bouchardi* makes its appearance in the Upper Llandovery. *I. postremus*, *B. bouchardi*, and *B. inflatus* are found in the Wenlockian, while *B. sulcatus* var. *kiaeri* is typically Ludlovian. Among the pygidia of which the species have not been determined, Type F occurs in the Lower Llandovery, and Types A, B, and E are present in the Upper Llandovery. Type C is apparently only found in the Wenlockian, and Type D (=*B. longicaudatus*) is recorded from the Upper Llandovery and particularly the Ludlovian.

Description of the Species.

The cranidia fall into two groups. The first comprises those forms in which the axial furrows are almost straight, parallel or connivent, the eyes are small and placed far back on the cephalon, and the glabella is relatively narrow; these can be referred to *Illaenus*. The second group includes cranidia which exhibit large eyes and palpebral lobes, curved axial furrows and a broad glabella; these can be placed in *Bumastus*. The value of many of the generic and subgeneric names included in the Family Illaenidae is open to doubt (Holm, 1882, pp. 45—51, and 1886, pp. 36—41; and Warburg, 1925, p. 97), but the genus *Bumastus* does appear to be well delimited although a diagnostic definition which embraces all *Bumastus*-like forms would be difficult to frame.

Illaenus rotundus, Kiær.

1908. *Illaenus rotundus*, Kiær, p. 572.

The cranidium of the holotype attains a moderate size being 21 mm long and possessing a calculated breadth of 28 mm across the palpebral lobes (pl. I, fig. 1, No. 19422); it is also strongly convex in longitudinal profile (pl. I, fig. 3, No. 19421). There is no differentiation on the test between the glabella and the occipital ring, but on the internal cast a short posterior band is developed. The glabella is 12 mm broad posteriorly, and defined by almost parallel, shallow axial furrows extending 3 mm beyond the level of the front of the palpebral lobe; a biconvex depression is present at the anterior extremity of each furrow; no axial pits have been seen. On the internal cast of some specimens referred to *I. rotundus* there is a pair of well-defined areas lying on the glabella approximately at the level of the palpebral lobes; they occur between an anterior and posterior tubercle (pl. I, fig. 6, No. 19191); these areas are interpreted as regions for muscle insertions on the ventral surface of the glabella. The fixed cheek is approximately two-thirds the glabellar breadth; on the test there is no sign of a posterior border furrow, but such a furrow is seen on internal casts. The palpebral lobe is small, and placed near the posterior margin. Anterior facial suture trends almost directly forwards reaching the margin 12 mm from the mid-line. Posterior facial suture is short, and passes obliquely outwards and backwards cutting the hinder margin 7 mm from the axial furrow.

The eye is unknown. The free cheeks are found in position in one individual which is an internal cast (pl. I, figs. 4 and 5, No. 19247); the cheek is obtusely angular, flat, and a groove surrounds the outer border of the eye.

The cephalon is characteristically devoid of terraced lines except for the extreme anterior region, and shows innumerable minute punctae (pl. I, fig. 2, No. 19421).

The cephalon has moved from the front of the thorax in the only specimen in which the latter is associated with a cephalon and pygidium, nine thoracic segments being visible (pl. I, fig. 7, No. 19262). The axis is 11 mm wide anteriorly and narrows posteriorly to 8 mm on the last segment. The fulcrum, external to which the pleurae are deflected sharply downwards, maintains a constant distance of 7.5 mm from the mid-line. The thoracic segments are smooth and there are no grooves on the pleurae.

The pygidium (pl. I, fig. 7, No. 19262) is 14 mm long and has a calculated breadth of approximately 20 mm; the axis is indicated by shallow, broad furrows, and is 8.5 mm broad anteriorly and 7 mm long. No axial furrows are apparent on the test but on the internal cast there is a narrow anterior border followed by seven (?) axial segments which are faintly delimited (pl. I, fig. 8, No. 19425). The anterior margin extends horizontally outwards for a distance of 3.5 mm from the axial groove to the fulcrum, where there is a sharp angulation, the facet being 5 mm long. The surface of the test and the internal cast is delicately punctate, and the punctae on the cast are much larger at the antero-lateral portion of the pygidium.

Horizons and Localities. *I. rotundus* is typically a Lower Llandovery species. The majority of the specimens were collected from Horizon 6 c (Plagiorhyncha decemplicata Zone) of Billingstad, Asker, but one individual was obtained from Horizon 6 a (Coelospira hemispherica Zone) of Hvalbakken; two other specimens of probably the same species showing the areas on the glabella for muscle insertion were recovered from Horizon 5 b (Meristella crassa Zone) of Rambergøy. Two further specimens showing delicate terraced lines on the cranidium, and doubtfully referred to *I. rotundus*, are known from Spirodden, Asker from Horizons 6 b—c.

Holotype. No. 19422.

Paratypes. Nos. 19191, 19247, 19262, 19421, 19425.

Illaenus sculptus, Kiær.

1908. *Illaenus sculptus*, Kiær, p. 572.

The holotype (pl. I, figs. 9—11, No. 19135) is an almost complete cephalon preserved as an internal cast which has been badly weathered on the posterior right side. The cephalon is 19.5 mm long, 28 mm broad, and the distance between the palpebral lobes is 25 mm; the longitudinal profile is strongly convex. On the test there is no separation of the unfurrowed glabella from the occipital ring, but on the cast a narrow posterior band is developed. Axial furrows converge anteriorly and terminate 3.5 mm in front of the palpebral lobes; a biconvex or planoconvex depression is present at the anterior extremity of the axial furrow; diverging outwards from the furrow is an extremely faint groove which connects to a small axial pit. Fixed cheek is relatively broad being 7 mm wide at the level of the palpebral lobe, and is thus a little more than half the glabellar breadth at this position; there is a pronounced posterior border furrow. The palpebral lobe is small and situated near the hinder margin. Anterior facial suture runs almost straight forward but actually it is gently sigmoidal in form, reaches the front border about midway between the genal angle and mid-line; thence it passes along the border for a short distance before it plunges obliquely inwards and backwards on the ventral surface as the connective suture defining the lateral margin of the rostral plate. Posterior facial suture can be followed directly backwards to the cephalic margin which it cuts at a right angle 6 mm from the genal angle.

The eye is small, elevated, and placed far back, the hinder extremity being no more than 2.5 mm from the posterior border; there is no eyelid. The free cheek is obtusely angular, pointed, and the posterior margin curves forward and outward to the genal angle, which consequently lies in advance of the greater part of the posterior cephalic border (pl. I, fig. 12, No. 19136, and pl. I, fig. 9, No. 19135). On the internal cast a pronounced groove surrounds the outer edge of the eye, but it is less evident on the test.

The rostral plate is of the usual illaenid form with the rostral suture 12.5 mm, posterior margin 8 mm, and the posteriorly converging connective sutures 4 mm long (pl. I, fig. 11).

The ornamentation of the head shield is incompletely known; moderately widely spaced terraced lines, separated by punctate areas, are present on the anterior cranidial surface, and are apparently less continuous at the front of, but become densely packed at the hinder end of, the glabella. The latter ornament suddenly stops at a line corresponding with the front of the band which, on the internal cast, is seen to occupy the posterior portion of the cranidium. The free cheek carries inosculating and branching terraced lines anterior to an imaginary line joining the eye and genal angle, but posterior to this, punctae alone are found. The rostral plate is crossed by a series of transverse ridges, the majority of which conform in shape with the rostral suture; on internal casts there are innumerable punctae all over the surface.

One specimen shows a poorly preserved cephalon and a few thoracic segments associated with a badly weathered pygidium, which is 13 mm long and 23 mm across its greatest breadth (No. 19280). From the axis, which is 8 mm broad and defined by broad and shallow furrows, the front pygidial margin extends almost horizontally outwards to the fulcrum, where there is a sharp posterior angulation. The pygidium is so indefinite regarding the details of its structure that it is not worth figuring; in general outline it resembles *I. rotundus*.

Geological Horizon and Localities. Horizon 6c (Plagiorhyncha decemplicata Zone: Lower Llandovery) of Spirodden and Langåra.

Holotype. No. 19135.

Paratypes. Nos. 19136, 19280.

Illaenus longispinosus, Kiær.

1908. *Illaenus longispinosus*, Kiær, p. 573.

The holotype is an incomplete cranidium but more than half the surface is preserved (pl. I, figs. 13—15, No. 19483). The length is 30 mm and the calculated breadth across the palpebral lobes 36 mm; in longitudinal profile the cranidium is markedly convex. The unsegmented glabella, undifferentiated from the occipital ring, is nearly exactly half the interocular breadth, and is defined laterally by almost parallel, broad, shallow axial furrows which are 13 mm long and extend beyond the palpebral lobes. On the internal cast (pl. I, fig. 16, No. 21307) the biconvex depression is clearly delimited at the anterior end of the axial furrow; no axial pits have been seen. The fixed cheek, at its posterior margin, measures approximately one-third the glabellar breadth; on the holotype, a pit occurs obliquely below the palpebral lobe but it is probably accidental (pl. I, fig. 15). There is no posterior furrow on the test. The palpebral lobe is large, markedly convex externally, situated near the posterior border, and the adjoining surface of the fixed cheek is drawn up towards the lobe. Anterior facial suture sweeps outwards for the major portion of its course and then curves inwards to reach the anterior margin 14 mm from the mid-line; posterior branch is short and curves outwards.

The eye is unknown. A free cheek (pl. I, fig. 17, No. 21306) believed to belong to this species was found associated with specimens from Ulvø; it is broad and flat, and the genal angle is smoothly rounded.

The ornamentation consists of a series of discontinuous terraced lines extending round the cranidial front, behind which a region almost bare of lines spreads from a central position laterally over the fixed cheeks; the glabella carries another series of short terraced lines.

Horizons and Localities. Characteristic of the Upper Llandovery of Bjerkøy (Holmestrand) from Horizon 7 a (Pentamerus borealis Zone), and of Ulvøy from Horizon 7 b β (Lower Coral Limestone).

Holotype. No. 19483.

Paratypes. Nos. 21306, 21307.

Remarks. The specific name was proposed by Kiær in order to direct attention to the presence of a long spine on the caudal fascia of the pygidium. There is no specimen in the collection showing a pygidium associated with a cranidium, and thus there is no certainty regarding which pygidium belongs to a corresponding head shield. The specific name is retained here for a cranidium which Kiær identified as *I. longispinosus*, and although the name itself may be misleading because it refers to no character found on the cephalon, it does not seem worth while to discard the term.

The species shows some resemblance to *I. proles* (Holm, 1886, pp. 154—157, pl. xi, figs. 1—3) but differs in the course of the facial suture, in the axial furrows being almost parallel, in general proportions, and in longitudinal and transverse profiles. It is also similar to *I. imperator* (Hall, 1861, p. 49, 1867, p. 332, pl. xxii, figs. 15—17, and 1870, p. 420, pl. xxii, figs. 15—17, pl. xxiii, figs. 2—3; Walter, 1925 (?), p. 262, pl. xxi, figs. 1—3), but in the latter the eyes occur nearer the posterior border and the palpebral lobes are smaller.

Illaenus postremus, Kiær.

1908. *Illaenus postremus*, Kiær, p. 573.

The cranidium alone is known and measures 12 mm long and 13 mm across the palpebral lobes (pl. I, figs. 18—20, No. 21757). In side view the surface is characteristically steep, and attains a maximum elevation just in front of the posterior margin. The unsegmented glabella is not distinct from the occipital ring, and its breadth is approximately one-half the interocular distance. The glabella is strongly convex transversely, attaining a maximum height in the mid-line 1 mm in advance of the posterior border. Four muscle scars, impressed from the ventral surface, are clearly visible on the test of the glabella; the scars are present on each side of the glabella and consist of a posterior ovoid area, situated at the level of the palpebral lobes, connected by a narrow constriction to a similar anterior area, which occurs just in front of the anterior termination of the axial furrows. The latter are 5 mm long, extend beyond the palpebral lobes, are broad and shallow, and terminate anteriorly in clearly defined biconvex depressions; terraced lines traverse the furrows but are absent from the depressions. The fixed cheeks are very convex longitudinally and drawn up to the level of the palpebral lobes, which are moderately developed and occur close to the posterior border being separated therefrom by an interval of 1.5 mm.

Anterior facial suture is long, gently curved, bent slightly outwards along most of its course, and reaches the front border 5 mm from the mid-line. Posterior branch is extremely short and curves outwards to cut the hinder margin at an acute angle.

The eye and free cheek are unknown.

The ornamentation consists of continuous terraced lines across the cranidial front, which soon give place to wavy, discontinuous lines; these extend over most of the remainder of the cranidial surface, but they are absent from the palpebral lobes and from a central region in front of the glabella. Punctae of two sizes are discernible, the larger being the less common.

Horizon and Locality. Only one specimen is available and this was obtained from Horizon 8 c (Rhynchotreta cuneata Zone or "Wenlock Limestone") of Ringerike.

Holotype. No. 21757.

Illaenus norvegicus, new species.

1908. *Illaenus* cf. *thomsôni*, Kiær, p. 571.

This species is represented by the largest identifiable illaenids from the Norwegian Silurian strata; the specimens are internal casts. The cranidium of the holotype is 55 mm long and the interocular breadth is 53 mm (pl. II, figs. 3 and 4, No. 19164); the longitudinal profile is gently convex. If the free cheeks were present, the shape of the cephalon would be sub-triangular. The unsegmented glabella and occipital ring are fused; the glabellar breadth is almost half the distance separating the palpebral lobes, and the glabella is delimited by moderately deep and broad axial furrows which end anteriorly in elongated biconvex depressions; the almost parallel furrows are 21 mm long and extend 10 mm beyond the front of the palpebral lobes, and there are no axial pits. Muscle scars are present on the glabella. At its hinder edge the fixed cheek is one-half the glabellar breadth, and passes forward as a gently curved surface which is arched in the neighbourhood of the palpebral lobe. The lobe is surprisingly small relative to the size of the individual, and it is placed near to the posterior margin from which it is separated by an interval of 7 mm. Anterior facial suture is long and curves inwards to meet the front margin 21 mm from the mid-line. Posterior branch trends backwards and slightly outwards to the posterior cephalic margin (pl. II, fig. 2, No. 19174).

The eyes and free cheeks are unknown but the latter are evidently long and narrow.

The rostrum, represented by an incomplete specimen, measures 22 mm from front to back, is about 40 mm broad, and is traversed by strong ridges (pl. II, fig. 1, No. 19411).

Little is known of the ornamentation on the test, but, where seen, it consists of delicate and faint terraced lines; the palpebral lobes are smooth. The internal cast shows a punctate surface with terraced lines almost entirely restricted to the front region of the cranidium.

Horizons and Localities. The species has been collected from several levels within the Llandovery; Horizon 6 a (Coelospira hemispherica Zone) of Sandvika, Horizon 6 c (Plagiorhyncha decemplicata Zone) of Spirodden, Etage 6 of Hvalbakken and Spirodden, and Horizon 7 a (Pentamerus borealis Zone) of Bjerkøy and Malmøy.

Holotype. No. 19164.

Paratypes. Nos. 19174, 19411.

Remarks. *I. norvegicus* is closely allied to *I. longicapitatus* var. *subcarinata*[1] (Reed, 1935, p. 19, pl. ii, figs. 8 and 8 a) but differs in being much larger, in having longer free cheeks and axial furrows, and in possessing relatively smaller palpebral lobes which are situated slightly more forward on the cranidium. The species also recalls *I. livonicus* (Holm, 1886, pp. 157—158, pl. xi, figs. 4 a—b) but the axial furrows are much shorter, the palpebral lobes smaller, and the fixed cheeks broader. The narrow form of *I. thomsoni* (Salter, 1867, p. 189, pl. xxx, fig. 8) differs from *I. norvegicus* in shape, in the narrower fixed cheeks, in the more fully developed palpebral lobes, and in the longer posterior branch of the facial suture.

Bumastus depressus, Kiær.

1908. *Bumastus depressus*, Kiær, p. 575.

The holotype (pl. II, fig. 5, No. 19365) is an almost perfect cranidium measuring 15 mm both in length and across the palpebral lobes; the longitudinal profile is gently curved and depressed, and is better seen in one of the paratypes (pl. II, fig. 7, No. 60618). The glabella is smooth[2] and fused with the occipital ring; there is a minute tubercle on its surface just in front of the hinder border, and it is delimited laterally by extremely shallow and faint axial furrows. These are curved, convergent forwards, extend as far as the level of the front of the palpebral lobes, and terminate anteriorly in shallow, biconvex depressions; on the internal cast the furrows are a little more evident and are continued beyond the depressions by outwardly directed, shallow furrows which connect to the axial pit (pl. II, fig. 8, No. 19369); an axial pit also occurs on the test. The fixed cheek is small, nearly flat, and attains its greatest breadth at the large and well developed palpebral lobes. Anterior facial suture swings outwards from the lobe and thence inwards to cut the cranidial front 7.5 mm from the mid-line; the short posterior branch bends outwards from the lobe, immediately behind the outer margin of which it cuts the edge of the cranidium at an acute angle.

---

[1] Holotype, Geological Survey, Edinburgh, No. 5108.

[2] One individual shows an obtuse median ridge but this is thought to be of little significance.

No free cheek is known associated with a cranidium, but certain isolated cheeks from Bjerkøy probably belong to this species (pl. II, figs. 9 and 10, Nos. 19231 and 19481). The genal angle, which is rounded, lies slightly in advance of the posterior cephalic margin and the cheek is flat over much of its area, being separated from the eye by a shallow groove; there is no external eyelid. The eye is partly preserved on one free cheek and is smooth, large, and strongly curved (pl. II, fig. 9, No. 19231). The ornamentation on the cheek consists of numerous, moderately continuous terraced lines which are absent from the groove surrounding the eye; the whole of the surface is punctate.

The cranidial ornamentation comprises closely spaced, delicate terraced lines, which are almost confined to the anterior region, and thus the cranidium as a whole appears smooth; the entire surface is punctate (pl. II, fig. 6, No. 60618).

Horizons and Localities. This species is confined to the Llandovery and is common in Horizon 7 a (Pentamerus borealis Zone) of Malmøy, Bjerkøy, and Ulvøy, and rare in Horizon 6 c (Plagiorhyncha decemplicata Zone) of Spirodden.

Holotype. No. 19365.

Paratypes. Nos. 19231, 19369, 19481, 60618.

Remarks. *I. angustifrons* var. *depressa* (Holm, 1886, pp. 133—135, pl. viii, figs. 14—17) is similar to our species, and, so far as can be determined from a study of the figures, the variety is apparently distinguished by the length being less relative to breadth, the palpebral lobes are less protuberant, the proportions of the free cheeks are different, and the glabella is sharply delimited from the fixed cheek along the posterior cephalic border. *B. macallumi* (Salter, 1867, p. 210, pl. xxx, fig. 3) is a much more gibbous species than *B. depressus*; I have been unable to trace the type-specimen of the cranidium and the figures are poor, so that it has not been possible to discover whether the species differ in other respects.

Bumastus bouchardi (Barrande).

1846. *Nileus bouchardi*, Barrande, p. 49.
1847. *Nileus bouchardi*, Hawle and Corda, p. 53.
1847. *Nileus minutus*, Hawle and Corda, p. 55.
1852. *Illaenus bouchardi*, Barrande, p. 689, pl. 2 B, fig. 19, and pl. xxxiv, figs. 26—38.
1872. *Illaenus bouchardi*, Barrande, p. 70, pl. xvi, figs. 15—18.
1908. *Bumastus praeruptus,* Kiær, p. 576.

The following description of the cephalon is founded upon an internal cast (pl. III, figs. 1—3, No. 19682) and a specimen which has the test preserved but is incomplete posteriorly (pl. II, figs. 11—14, No. 19681). The cephalon of the cast is 25 mm long and 35 mm broad, and the breadth across the palpebral lobes is 29 mm; in longitudinal profile it is strongly convex. The glabella is ill-defined on the test, broadest posteriorly and narrows anteriorly; it carries a median tubercle visible only on the internal cast. The axial furrows are short, curved, terminate at the level of the front of the palpebral lobes, and are very shallow on the test but deeper on the cast; they exhibit a plano-convex depression at their front extremity, and thence are continued by extremely faint furrows diverging outwards to a tubercle on the test, which overlies the axial pit preserved on the cast; this pit shows a minute central tubercle. The fixed cheek is narrow relative to the glabellar breadth, strongly arched in the region of the palpebral lobe, behind which it plunges down to the posterior border. The palpebral lobe is pronounced and markedly convex externally; on the cast it shows a groove trending parallel to its outline, but such a groove is not visible on the test. Anterior facial suture is sigmoidal, curving outwards anteriorly to meet the front border 11 mm from the mid-line. Posterior branch is much shorter and bends outwards to cut the posterior border at an acute angle.

The large, smooth, curved, parallel-sided and vertical eye is long and narrow; it is bounded externally by a steeply inclined and transversely convex eyelid which is delimited by a groove. At this groove there is a sharp angularity from the almost vertical eyelid to the more horizontally disposed remainder of the free cheek, which is nearly flat. The outline of the cheek is not entire in either of the cephala but an isolated cheek shows that it is obtusely rounded, and the posterior margin bends forwards to the genal angle, which is situated almost opposite the middle of the eye (pl. III, fig. 4, No. 19678).

The rostrum, 5 mm in length, is a flat, spindle-shaped plate with a curved posterior margin; owing to the invasion of the ventral surface of the cranidium by the preglabellar region, the rostral suture is not marginal but about 1 mm from the anterior border (pl. II, fig. 14). Connective sutures are inclined inwards meeting the posterior edge of the doublure at an acute angle. The rostrum is ornamented by continuous and strong terraced lines.

The ornamentation of the dorsal surface of the cephalon consists of a series of moderately developed terraced lines distributed round the cranidial front but they tend to become disconnected posteriorly; still farther back there is a clear area in front of the glabella, but the glabella itself exhibits scaly terraced lines which extend across the axial furrows on to the palpebral lobes. The almost flat expanse of the free cheek carries scaly, discontinuous terraced lines which simulate the appearance of overlapping tiles.

Horizons and Localities. Characteristic of Horizon 8 c (Rhynchotreta cuneata Zone: Wenlockian) of Malmøy, and distorted cranidia probably belonging to this species were recovered from Horizon 7 a (Pentamerus borealis Zone: Upper Llandovery) of Malmøy, Bjerkøy, and Ulvøy.

Remarks. Apart from slight differences in the shape of the cranidium and rostral plate, the Norwegian material is apparently identical with specimens identified by Barrande as *Illaenus bouchardi*. *B. bouchardi* differs from *B. sulcatus* (Lindström, 1885, p. 84, text-fig.) in several features, but particularly in the greater development of the palpebral lobe, and in the more backward position of the eye. The species is also similar in general construction to *B. barriensis* (Salter, 1887, pp. 203—7, pl. xxvii, figs. 1—5) to which it is obviously related. Both forms possess pronounced eyelids, but in *B. bouchardi* the glabellar breadth is relatively less, the eyes occur farther back, the free cheek is narrower and is less steeply inclined, the genal angle is placed more anteriorly, and, as far as can be ascertained, the posterior facial suture, does not cut the hinder cephalic margin at so acute an angle; furthermore, the rostral plate of *B. barriensis* (Salter, 1849, pl. iv, fig. 7*) is different in shape particularly along the posterior border. Dr. Hedström, who is revising the Gotlandian trilobites, has kindly sent me a photograph of the plate illustrating his manuscript species *Bumastus sublaevis* from the *Stricklandia*-bed. This undescribed form can be separated from *B. bouchardi* because it shows a more rotund longitudinal profile, a differently shaped rostrum of which the rostral suture is marginal, and there is no eyelid on the free cheek.

Bumastus inflatus, Kiær.

1908. *Bumastus inflatus*, Kiær, p. 577.

The cranidium measures 14.5 mm long and 19 mm across the palpebral lobes (pl. III, fig. 5, No. 21399); the longitudinal profile descends rapidly and steeply, and the head-shield is markedly foreshortened (pl. III, fig. 6). The broad glabella is ill-defined by faint, convergent, curved furrows which originate immediately behind the palpebral lobes; there are four circular areas on the glabella which show through the test from the ventral surface, and these are thought to be muscle scars (pl. III, fig. 7); similar markings have been figured by Raymond in *Bumastus holei* (1925, pl. viii, fig. 6). The axial furrows terminate in shallow biconvex depressions opposite the mid-length of the palpebral lobes; a small area on the test near the front border and just internal to the anterior facial suture marks the position of the axial pit. The palpebral lobe is pronounced and placed near to the hinder margin of the cranidium. Anterior facial suture is sigmoidal and cuts the front margin 7 mm from the mid-line; posterior branch is extremely short and curves sharply outwards to intersect the posterior border at an acute angle.

The free cheek is slightly longer than broad (pl. III, fig. 8, No. 21400) and carries a long, narrow, parallel-sided, curved eye which is bounded externally by a narrow, transversely convex eyelid. The eye and eyelid are steeply inclined and there is an abrupt change onto the much flatter surface of the remainder of the cheek. The genal angle is rounded and is at the level of about one-third the length of the eye from its posterior limit.

The cranidial surface is punctate but terraced lines occur around the front and hinder margins. The free cheek exhibits a well-developed series of curved terraced lines many of which are centred on the genal angle.

Horizon and Locality. Horizon 8 d (Malmøy Limestone; Wenlockian) of Malmøy.

Holotype. No. 21399.

Paratype. No. 21400.

Remarks. *B. inflatus* is nearly related to *B. bouchardi* but can readily be distinguished by the greater foreshortening of the cranidium, by the less evident palpebral lobes, and by the free cheek being broader with fewer, but coarser, terraced lines.

Bumastus sulcatus, Lindström, var. *kiaeri*, new variety.

1908. *Bumastus sulcatus*, Kiær, p. 577.

The cephalon is 20 mm long, 29 mm broad, and 20 mm across the palpebral lobes (pl. III, fig. 9, No. 60616); the longitudinal profile is gently convex (pl. III, fig. 10). The smooth glabella is undifferentiated from the occipital ring and is defined by curved, anteriorly convergent axial furrows which originate at the posterior margin behind the palpebral lobes. The grooves are shallow on the test, deeper on the cast, and exhibit biconvex depressions opposite to the palpebral lobes; thence, in the cast, they are continued as moderately strong furrows which swing outwards to the axial pit, which occurs about 4 mm from the front border and 2 mm from the facial suture. The fixed cheek is narrow and flat, except where it is drawn up to the palpebral lobe as a wider and more convex area. The palpebral lobe, although well-developed, is not very convex in outline and shows a faint groove along its inner margin. Anterior facial suture swings externally from the lobe and thence inwards to intersect the front margin 9.5 mm from the mid-line. Posterior facial suture trends at first slightly outwards, and then bends sharply to cut the posterior cephalic margin at an acute angle, 5 mm from the genal angle (pl. III, fig. 11).

The eye is smooth, large, strongly convex, parallel-sided, and is placed forward on the cephalon, being separated from the posterior margin by an interval of 5 mm. The eye is surrounded by a broad groove but there is no external eyelid. The remainder of the free cheek is only slightly convex; the genal angle is obtusely pointed and is at the same level as the remainder of the posterior cephalic border.

Terraced lines are present round the lateral and anterior cephalic margin, but most of the surface of the head shield is devoid of such lines and exhibits innumerable, closely arranged punctae.

The pygidium, which is depressed, is broader than long measuring 30 mm and 25 mm respectively (pl. III, figs. 13 and 14, No. 60617). The axis is undifferentiated; there is a narrow band along the pygidial front. The anterior margin is convex and then swings back and outwards to the facets which are concave along their length, inclined forwards and delimited internally by a ridge and a groove. A median carina traverses the posterior half of the pygidium and is more clear on the cast than on the test. The ventral doublure is broad and carries widely spaced terraced lines. The test surface is devoid of terraced lines and is characteristically covered by numerous punctae, which are also clearly shown on the cast (pl. III, fig. 12, No. 19754, and pl. III, fig. 13, No. 60617).

Horizon and Locality. Represented by several specimens from Horizon 9 d (Delthyris elevata Zone: Ludlovian) of Langøy, Holmestrand.

Holotype. No. 60616.

Paratypes. Nos. 19754, 60617.

Remarks. The type specimens[1] of the cephalon and cranidium of *Bumastus sulcatus* described from the Ludlovian rocks of Gotland (Lindström, 1885, p. 84, text-fig.) are larger than the Oslo individual; furthermore, they are different in proportions, in being more convex, in having free cheeks less steeply inclined, and in possessing a subtriangular shape. If the isolated pygidium[2] referred by Lindström to *B. sulcatus* actually belongs there, then the pygidium of var. *kiaeri* is much flatter both in transverse and longitudinal profiles. The general form of the cephalon of *B. dayi* (Raymond, 1916, p. 18, pl. i, figs. 8—10) is similar to our variety but the pygidia are distinct.

---

[1] Ar 8722 and Ar 2276, Riksmuseum, Stockholm.

[2] Ar 2279, Riksmuseum, Stockholm.

Types of Pygidia of Undescribed Species.

Pygidium Type A.

The pygidium (pl. III, figs. 15 and 16, No. 19438) attains a maximum breadth of 43 mm, the calculated length is 29 mm, and in longitudinal and transverse profiles it is gently convex. The axis, defined by broad, shallow furrows, is 17 mm broad anteriorly, about 14 mm long, but posteriorly it merges imperceptibly into the general pygidial surface; the axis appears smooth in all the specimens referred to this type. Anterior pygidial margin passes horizontally outwards from the axial furrow for a distance of 6 mm, where it becomes sharply angulated at the fulcrum. The vertically disposed facet is fully developed and is 12 mm long. The ventral surface has been partly exposed by chipping away the overlying portion of the cast; the anterior ventral margin is prolonged into a relatively long, flat, median spine, which sometimes shows a shallow median longitudinal groove; the upper side of the ventral doublure exhibits a gently inclined posterior area trending parallel to the pygidial outline, delimited from a much more convex and more steeply inclined anterior region which medially merges into the spine. Where portions of the test are preserved it is found to be punctate, and delicate terraced lines have also been seen.

Horizons and Localities. The form is confined to the Upper Llandovery being found in Horizon 7 a (Pentamerus borealis Zone) of Bjerkøy and Horizon 7 b (Pentamerus laevis Zone) of Ulvøy.

Remarks. The pygidium here described is represented by an isolated specimen associated with the cranidium of the holotype of *I. longispinosus*. Type A pygidium may therefore prove to belong to this species, but nothing definite can be stated on this matter until a complete test is found.

Pygidium Type B.

The pygidium is short and broad measuring 36 mm long and 63 mm wide (pl. IV, fig. 1, No. 19546). In longitudinal profile the pygidium plunges down rapidly towards the posterior margin, the major surface being almost flat (pl. IV, figs. 2 and 3, No. 19547). The axis is 25 mm broad but the axial furrows are so shallow and they merge so gradually into the general pygidial surface that the boundary of the axis cannot usually be determined. The axis shows no segmentation of the test and generally none on the cast, but one internal cast exhibits a series of transverse, anteriorly arched grooves which show that at least six segments are developed (pl. IV, fig. 4, No. 19632). Anterior pygidial margin extends horizontally outwards for a distance of 10 mm from the axial furrow to the fulcrum, at which position there is a sharp angulation and the facet trends obliquely backwards for 15 mm. The ornamentation comprises a series of anteriorly convergent terraced lines, the apical parts of which occur in the mid-line (pl. IV, fig. 2).

Horizons and Locality. Found in the Upper Llandovery in Horizons 7 a (Pentamerus borealis Zone), 7 b, (Pentamerus laevis Zone) and 7 c (Crotalocrinus Zone) of Malmøy.

Pygidium Type C.

The type includes the flattest pygidia so far seen in the collection; in one form the measurements are 20 mm long and 30 mm broad (pl. IV, figs. 5 and 6, No. 19680). The axis is undifferentiated on the surface of the pygidium but anteriorly the margin exhibits a median, broad, anterior convexity which probably corresponds to the front of the axis (pl. IV, fig. 7, No. 19679). The margin extends straight outwards from the axis to the anterior corner where the surface is deflected backwards to form the facet. A broad ventral doublure is visible in places and it is marked by strong terraced lines. The ornamentation of the test comprises numerous delicate terraced lines, with some intervening punctae, while on the internal cast punctae alone are visible.

Horizon and Locality. Horizon 8 c (Zone of Rhynchotreta cuneata; "Wenlock Limestone") of Malmøy.

Pygidium Type D.

Bumastus longicaudatus, Kiær.

1908. *Bumastus longicaudatus*, Kiær, p. 576.

The pygidium is approximately as wide as long, and Kiær's holotype is 39 mm long (pl. IV, fig. 8, No. 19606); the surface is moderately convex but the curvature flattens towards the margin (pl. IV, fig. 9). There is no differentiation of the axis; the front pygidial margin is convex anteriorly and sweeps back to the anterior corners where strongly developed, inclined facets occur; the inner edge of the facet is a moderately sharp ridge followed posteriorly by a shallow groove. The test is incompletely preserved but carries numerous branching and inosculating terraced lines which, however, end abruptly on either side of a median groove which is present in the posterior part of the pygidium. On the internal cast, a slight carina underlies this groove and dies away about the mid-length of the pygidium. Minute tubercles are present on the test between the terraced lines.

Horizons and Localities. Horizons 7 a and 7 b α (Pentamerus boreolis and laevis Zones; Upper Llandovery) of Leanghøgda, Asker, Horizons 7 a and 7 b of Malmøy and Bjerkøy, and Horizon 9 c (Upper Zone of Leperditia phaseolus; Ludlovian) of Gåserumpa.

Holotype. No. 19606.

Pygidium Type E.

The pygidium (pl. IV, figs. 10 and 11, No. 60619) is closely related to *B. longicaudatus*. The differences are: (a) it is not so elongated, being 23 mm long compared with a breadth of 27 mm; (b) there is a posterior median carina on the test instead of a groove, but this distinction may be of no value; (c) the terraced lines on the test are much more delicate and intervening areas are punctate; and (d) the longitudinal profile is more convex.

Horizon and Localities. Horizon 7 a (Pentamerus borealis Zone; Upper Llandovery) of Bjerkøy, Malmøy, and (?) Sandvika.

Pygidium Type F.

The pygidium is similar to the two preceding ones but is much broader measuring 32 mm long and 40 mm wide (pl. IV, figs. 12 and 13, No. 19180). The facet is relatively large, gently declined forwards, and is bounded internally by a strong ridge succeeded by a backwardly curving and marked groove. A short posterior median carina gives place to a median groove occurring near the hinder margin. The terraced lines are undulose, branching, and tend to become scaly towards the margin.

Horizon and Locality. Etage 6 (Lower Llandovery) of Spirodden.

Literature.

Barrande, J. 1846. "Notice préliminaire sur le systême silurien et les trilobites de la Bohême". Leipsic.

— 1852. "Systême silurien du centre de la Bohême. — 1ère partie". Recherches paléontologiques, vol. i.

— 1872. "Systême silurien du centre de la Bohême. — 1ère partie". Recherches paléontologiques, Supplement au vol. i.

Hall, J. 1861. Rept. Prog. Geol. Surv. Wisconsin for 1890.

— 1867. 20th. Ann. Rept. New York State Cab. Nat. Hist.

— 1870. 20th. Ann. Rept. New York State Cab. Nat. Hist. (rev. ed.).

Hawle, I. and Corda, A. J. C., 1847. "Prodrom einer Monographie der böhmischen Trilobiten." Prag.

Holm, G. 1882. "De svenska arterna af trilobitslägtet *Illaenus* (Dalman)." Bihang till K. svenska Vet.-Akad. Handlingar, B. VII, no. 3.

— 1886. "Die Ostbaltischen Illaeniden. Revision der Ostbaltischen Trilobiten. Abt. III." Mem. Acad. Imp. Sci. St. Pétersbourg, sér. vii, Tome xxxiii, No. 8.

Kiær, J. 1908. "Das Obersilur im Kristianiagebiete." Vidensk. selsk. skrifter. Math.-naturv. Kl. (1906) II.

Lindström, G. 1885. "Förteckning på Gotlands Siluriska Crustacéer." Öfvers. kgl. Vet.-Akad. Förhandl. no. 6.

Raymond, P. E. 1916. "New and Old Silurian Trilobites of South-eastern Wisconsin, with Notes on the Genera of the Illaenidae." Bull. Mus. Comp. Zoology, Cambridge, Mass., vol. lx, no. 1.

— 1925. "Some Trilobites of the Lower Middle Ordovician of Eastern North America." *Ibid.* vol. lxvii, no. 1.

Reed, F. R. C. 1935. "The Lower Palaeozoic Trilobites of Girvan. Supplement no. 3." Palaeontographical Society.

St. Joseph, J. K. S. 1938. "The Pentameracea of the Oslo Region, Being a Description of the Kiær Collection of Pentamerids." Norsk Geol. tidsskrift, vol. xvii.

Salter, J. W. 1849. "British Organic Remains." Decade ii, Mem. Geol. Survey, United Kingdom.

— 1867. "A Monograph of the British Trilobites from the Cambrian, Silurian and Devonian Formations. — Part IV." Palaeontographical Society.

Walter, O. T. 1925 (?). "Trilobites of Iowa and some related Palaeozoic Forms." Ann. Rep. Iowa Geol. Surv. for 1923 and 1924.

Warburg, E. 1925. "The Trilobites of the Leptaena Limestone in Dalarne." Bull. Geol. Inst. Upsala, vol. xvii.

Plate I.

All figures are natural size unless otherwise stated.

Illaenus rotundus, Kiær.

Fig. 1. Cranidium of the holotype, of which the test is preserved, tilted to the right to show the palpebral lobe, the facial suture, and the axial furrow. No. 19422, Zone 6 c, Billingstad, Asker.

Figs. 2 and 3. Top and side views of a paratype of which the test is preserved. No. 19421, Zone 6 c ?, Billingstad, Asker.

Fig. 4. Top view of a young individual occurring as an internal cast, in which the free cheeks are in position. No. 19247, Zone 6 a, Hvalbakken.

Fig. 5. Same specimen tilted to the right to show the free cheek. × 1.5.

Fig. 6. The specimen has been tilted forwards in order to facilitate the illumination of the two areas on the glabella which are supposed to be muscle scars. No. 19191, Zone 5 b, Rambergøy. × 1.5.

Fig. 7. Almost complete specimen, of which the test is present; note the smoothness of the pygidium. No. 19262, Zone 6 c, Billingstad, Asker.

Fig. 8. The fragmentary pygidium, which is an internal cast, shows the faintly defined furrows on the axis. No. 19425, Zone 6 c, Billingstad, Asker.

Illaenus sculptus, Kiær.

Fig. 9. Top view of the holotype which is an internal cast badly weathered and incomplete in the right postero-lateral region. Note the convergent axial furrows and the left free cheek, that on the right being fragmentary. No. 19135, Zone 6 c, Spirodden, Asker.

Fig. 10. Side view of same specimen.

Fig. 11. Ventral view of the same specimen showing the rostral plate; note that the rostral suture is marginal.

Fig. 12. An isolated free cheek showing the ornamentation, and the forward position of the genal angle. The eye (e) is damaged but its position is indicated. No. 19136, Zone 6 c ?, Spirodden, Asker. × 1.5.

Illaenus longispinosus, Kiær.

Figs. 13 and 14. Top and side views of the holotype. No. 19483, upper part of Zone 7 a, Bjerkøy, Holmestrand.

Fig. 15. Same specimen tilted forwards to show the course of the posterior branch of the facial suture, and also the pit on the fixed cheek situated internal to the palpebral lobe.

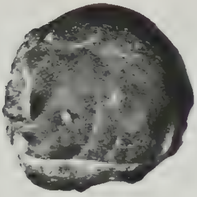
Fig. 16. A slightly distorted internal cast of a cranidium showing the relatively broad glabella which characterizes this species. No. 21307, Zone 7 b, Ulvøy.

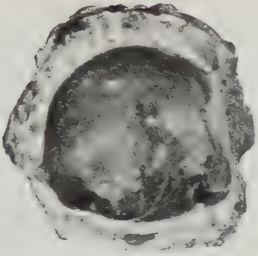
Fig. 17. A poorly preserved free cheek believed to belong to this species. The eye is not present, but note the relatively broad cheek. The anterior branch of the facial suture has been inked. No. 21306, Zone 7 b, Ulvøy.

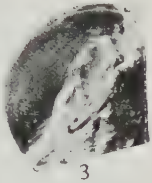
Illaenus postremus, Kiær.

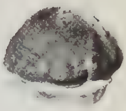
Figs. 18 and 19. Top and side views of the holotype which has the test preserved; note the extreme foreshortening and depth of the cranidium. No. 21757, upper part of Zone 8 c, Ringerike.

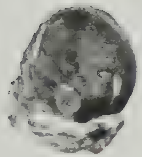
Fig. 20. Same specimen tilted forwards to show the palpebral lobe and posterior branch of the facial suture on the right side.

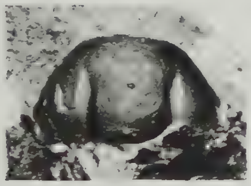

1

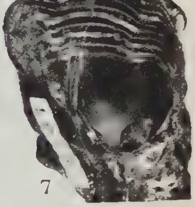

2

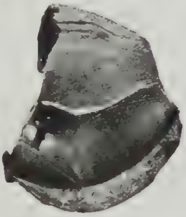

3

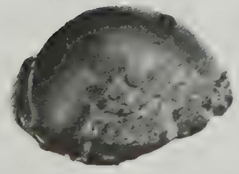

4

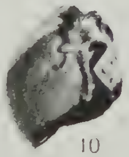

5

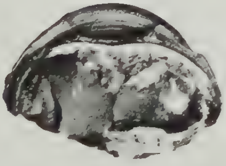

6

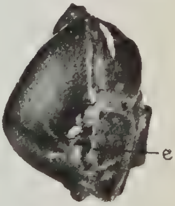

7


8

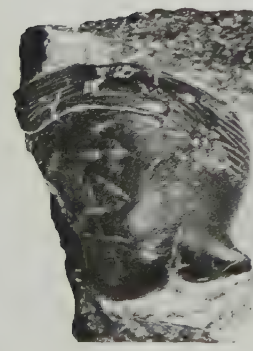

9

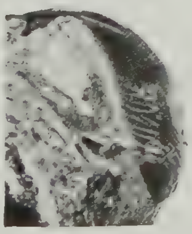

10

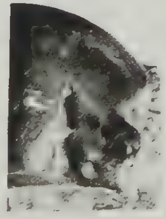

11

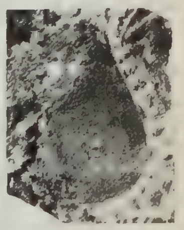


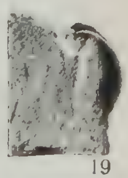
12

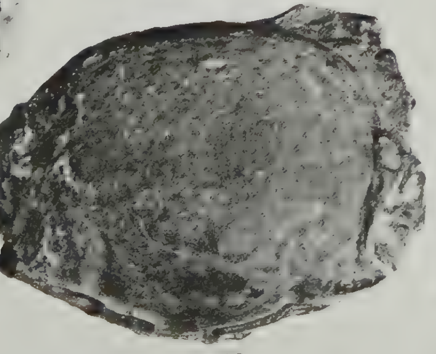

13

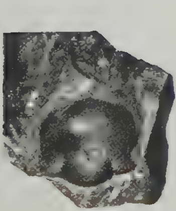

14


15


17


19


16


18

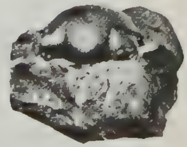

20

Plate II.

All figures are natural size unless otherwise stated.

Illaenus norvegicus, new species.

Fig. 1. Incomplete rostral plate of which the connective sutures are not seen. No 19411, upper part of Zone 7 a, Bjerkøy. Holmestrand.

Fig. 2. The specimen has been tilted to the side to show the palpebral lobe and posterior branch of the facial suture. No. 19174, Zone 6 c, Spirodden, Asker.

Figs. 3 and 4. Top and side views of the holotype which is an internal cast; note in the top view, the irregularly shaped muscle scar occurring on the right side of the glabella just in front of the axial furrow. No. 19164, Zone 6 a about 17 feet above Zone 5 b, Sandviksåsen, Bærum.

Bumastus depressus, Kiær.

Fig. 5. Almost perfect cranidium with test present, the holotype. No. 19365, Zone 7 a, Ulvøy.

Fig. 6. A cranidium showing the ornamentation of the test, the axial pits, and the posterior median tubercle; posterior branch of the facial suture is broken. No. 60618, Zone 7 a, Malmøykalven, Bunnefjord.

Fig. 7. Side view of same specimen.

Fig. 8. Internal cast in which the axial furrow and its continuation to the axial pit is much more strongly shown than in the test. No. 19369, Zone 7 a, Bjerkøy, Holmestrand.

Fig. 9. Free cheek. No. 19231, Zone 7 a, Bjerkøy, Holmestrand. × 3.

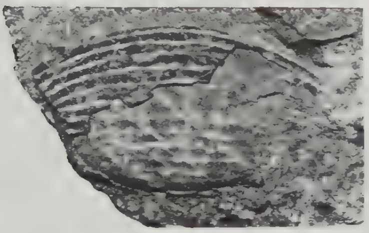
Fig. 10. Incomplete free cheek. No. 19481, Zone 7 a, Bjerkøy, Holmestrand.

Bumastus bouchardi (Barrande).

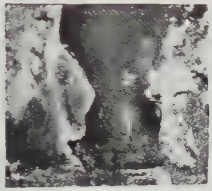
Figs. 11 and 12. Top and oblique side views of a specimen showing the test; note the facial suture and the tubercle on the test which overlies the axial pit developed on the cast. The specimen is broken transversely along the posterior edge. No. 19681, Zone 8 c, Malmøy.

Fig. 13. Same specimen viewed from in front.

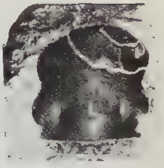
Fig. 14. Same specimen viewed ventrally. Note that the rostral suture is here a little behind the margin and occurs on the ventral surface, while the posterior edge of the plate is convex caudally.



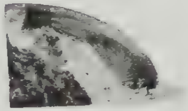
1



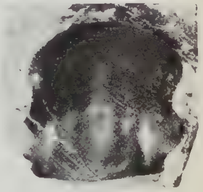
2



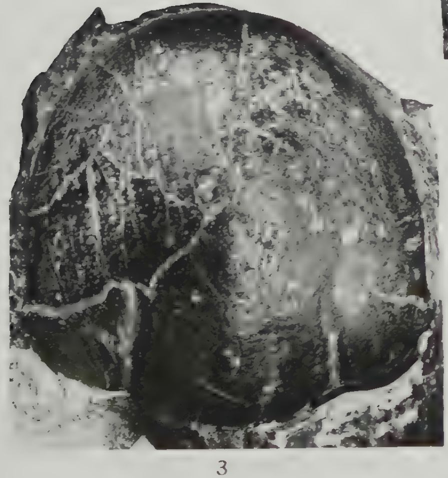
5



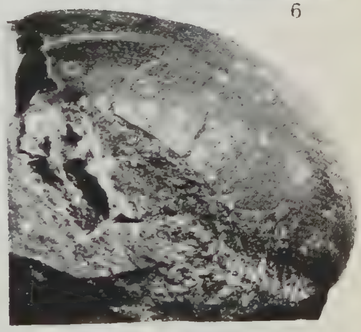
7



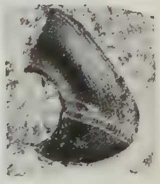
6



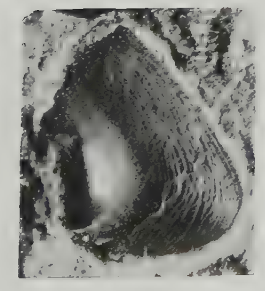
3



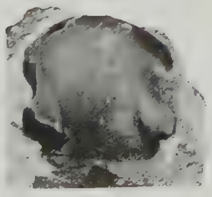
4



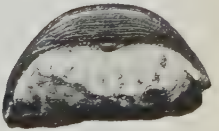
10



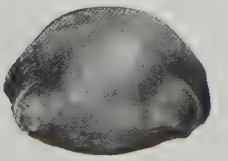
9



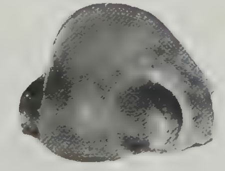
8



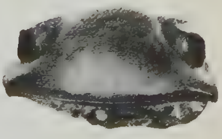
14



11



12



13

Plate III.

All figures are natural size unless otherwise stated.

Bumastus bouchardi (Barrande).

Figs. 1, 2, and 3. Top, side and oblique views of an internal cast. Note that the lower portion of the left free cheek has broken away and moved obliquely outwards and backwards. No. 19682, Zone 8 c, Malmøykalven.

Fig. 4. Free cheek showing the eye, eyelid, facial suture, and ornamentation. No. 19678, Zone 8 c, Malmøy. × 3.6.

Bumastus inflatus, Kiær.

Figs. 5 and 6. Top and side views of the holotype which has the test preserved; note the foreshortening and depth of the cranidium. No. 21399, Zone 8 d, Malmøy.

Fig. 7. Wash drawing of the holotype to show the four areas which can be seen through the test, and are presumed to be muscle scars on the ventral surface.

Fig. 8. A perfectly preserved free cheek. No. 21400, Zone 8 d, Malmøy. × 2.3.

Bumastus sulcatus, Lindström, var. *kiaeri*, new variety.

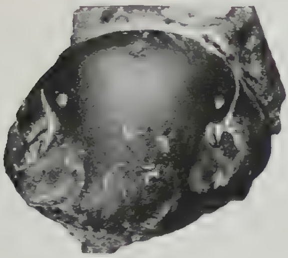
Figs. 9, 10, and 11. Top, side and oblique views of the holotype; the free cheeks have the test preserved but the cranidium is almost entirely in the form of an internal cast. No. 60616, Zone 9 d, Langøy, Holmestrand.

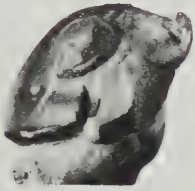
Fig. 12. Pygidium showing the punctate surface both of the test and internal cast. No. 19754, Zone 9 d, Langøy, Holmestrand.

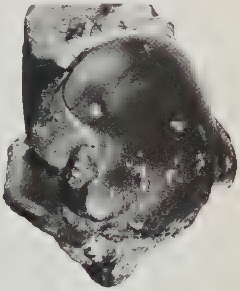
Figs. 13 and 14. Top and side views of a pygidium showing the punctate surface of the test and the internal cast. No. 60617. Zone 9 d, Langøy, Holmestrand.

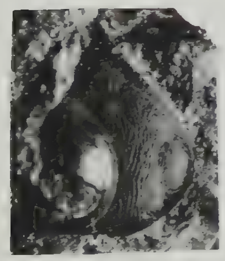
Pygidium. Type A.

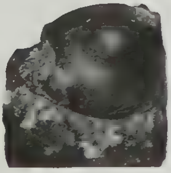
Figs. 15 and 16. Top and side views of internal cast; note the long spine of the caudal fascia. No. 19438, Zone 7 a, Bjerkøy, Holmestrand.

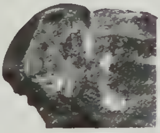

1

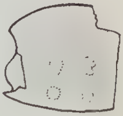

2

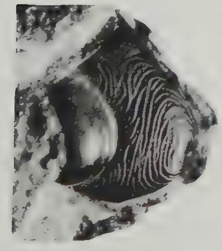

3

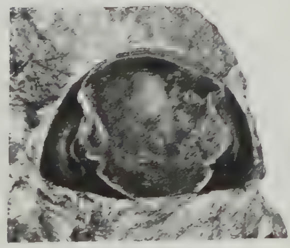

4

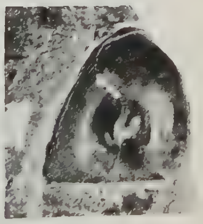

5

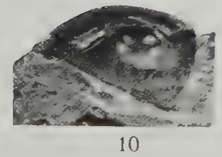

6

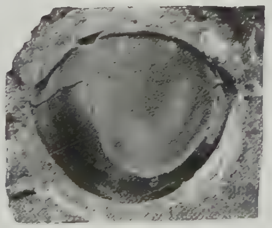

7

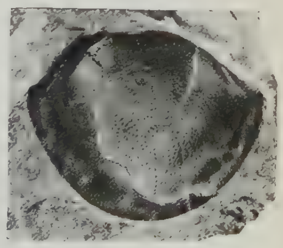

8

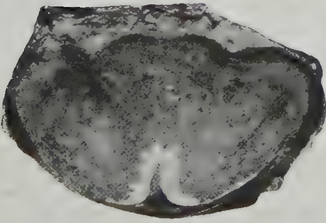

9

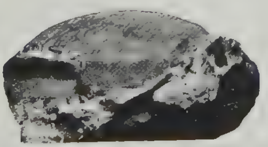

11


10


12


13


15


16

14

Plate IV.

All figures are natural size.

Pygidium Type B.

Fig. 1. Drawing of pygidium showing part of the test with terraced lines. No. 19546, Zone 7 b, Malmøy.

Fig. 2. Pygidium showing Λ-shaped terraced lines. No. 19547, horizon and locality unknown but probably Zone 7 c of Malmøy.

Fig. 3. Side view of the same specimen showing the steepness of the posterior surface.

Fig. 4. Incomplete specimen exhibiting the furrows on the axis. No. 19632, Zone 7 c, Malmøy.

Pygidium Type C.

Figs. 5 and 6. Top and side views of No. 19680, Zone 8 c, Malmøy.

Fig. 7. Incomplete pygidium, No. 19679, Zone 8 c, Malmø.

Pygidium Type D (= *Bumastus longicaudatus*, Kiær).

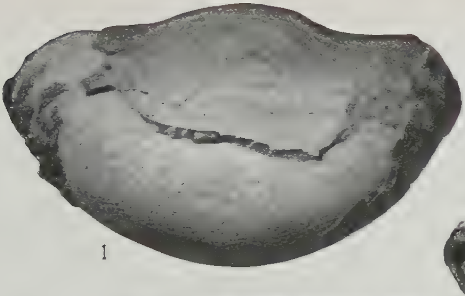
Figs. 8 and 9. Top and side views showing the abundant terraced lines with intervening punctae. No. 19606, Zone 7 a—b, Leanghøgda, Asker.

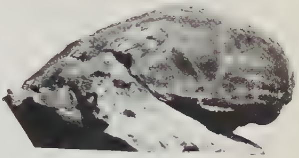
Pygidium Type E.

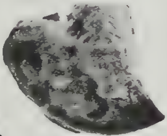
Figs. 10 and 11. Top and side views of No. 60619, Zone 7 a, Malmøykalven, Bunnefjord.

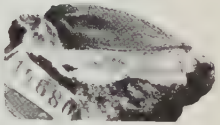
Pygidium Type F.

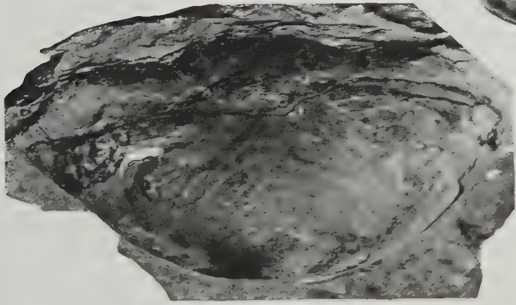
Figs. 12 and 13. Top and side views of No. 19180, Zone 6 c, Spirodden, Asker.

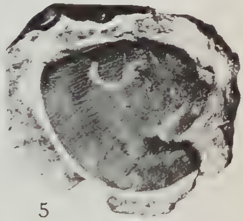

1

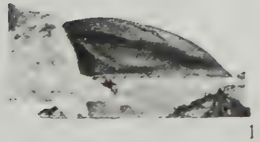

3

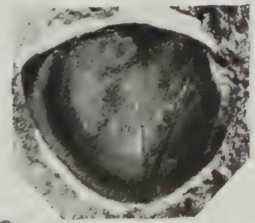

4

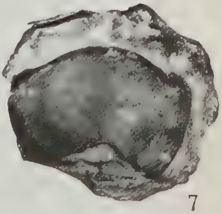

6

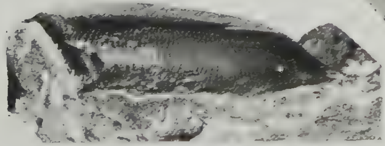

2

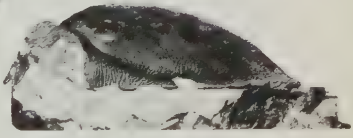

5

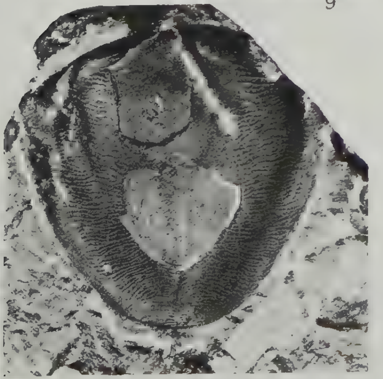

11

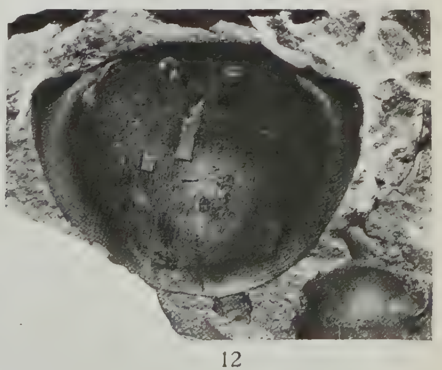

10


7


9


13


8


12

Ms. mott. mars 23. 1939.

BERGMESTER
THOMAS GEORG MÜNSTER

Minnetale i Norsk geologisk forening 23. mars 1939

AV

K. O. BJØRLYKKE

Bergmester THOMAS MÜNSTER døde 10. mars 1938, litt over 83 år gammel.

Han hadde i de siste år forlatt vår forening på grunn av sin høie alder, men tidligere, helt fra den geologiske klubbs dannelse i 1893, var han en interessert og hyppig deltaker i klubbens møter og tildels også i den geologiske forening efter 1915.

Han var Kristianiagutt, født 1. mars 1855, sønn av professor i metallurgi E. B. Münster, hvis navn er kjent bl. a. ved den betydelige skjellsamling han hadde skjenket til Universitetet; den er nevnt i W. C. Brøggers store arbeide: „Om de senglaciale og postglaciale nivåforandringer i Kristianiafeltet“ (N. G. U. nr. 31).

Thomas Münster passerte gradene på vanlig vis: Student i 1872, bergeksamen i 1878, amanuensis ved metallurgisk laboratorium fra 1874 til 1881, aspirant ved Kongsberg sølvværk fra 1881 til 1892, myntguardein fra 1892 til 1899, myntmester fra 1899 til 1906, bergmester i Finnmark distrikt 1906 til 1911, i det østenfjellske distrikt fra 1911 til 1918. Dette var hans hovedstillinger, men han hadde også bistillinger.

I 1875 fikk professor Th. Kjerulf, den geologiske undersøkelses grunnlegger, oprettet to faste assistentstillinger ved den geologiske undersøkelse, bestemt for sine to dyktigste elever og medarbeidere, Brøgger og Reusch. De var i grunnen tenkt som bistillinger med en årlig løn av kun kr. 1 200,00. Brøgger var dengang amanuensis hos Kjerulf og hadde dessuten bistillingen ved den geologiske undersøkelse; men da han (Brøgger) i 1882 blev kalt til professor ved Stockholm högskola, fikk Thomas Münster bistillingen efter ham som assistent ved den geologiske undersøkelse, og denne stilling beholdt han i 15 år fra 1882 til 1897, da han, kort efter, blev utnevnt til myntmester og senere til bergmester.

Stillingen som assistent ved den geologiske undersøkelse røktet han ved i en del av sommertiden å foreta geologiske undersøkelser og kartlegging på forskjellige steder, mest på Østlandet, tildels sammen med professor W. C. Brøgger som i 1890 var kalt tilbake fra Sverige og hadde overtatt Kjerulfs tidligere professorat ved Universitetet i Oslo. Som eksempel på sistnevnte samarbeide kan nevnes deres beretning om skredet i Verdal i 1893 (St.prp. nr. 70, 1893).

Münster hadde forresten også andre jern i ilden. Han var politiker og medlem av Kongsberg formandskap fra 1885 til 1904. I to stortingsperioder, fra 1891 til 1897, var han stortingsmann fra Kongsberg. Om sin stilling som stortingsmann har han selv oplyst i Nanna Withs „Illustrert biografisk leksikon“ at han var „trofast venstremann så lenge dette parti representerte frisindet i vårt land“, men senere soknet han til det frisindede venstre, hvor han blev „stående i foreningen til vern om den individuelle frihet“.

Thomas Münster var også en interessert zoolog og spesialist i biller (coleoptera). Derom sier han i ovennevnte leksikon at denne interesse skyldte han sin fars kloke opdragelse og „gamle gartner N. Moe på Tøyen, med hvem jeg i guttedagene om sommeren gjorde stadige søndagsturer i Kristiania omegn“. Selv på sine geologiske reiser hadde Münster gjerne sin insekthov og sine prøveglass med sig for ved leilighet også å røkte sine entomologiske interesser.

Ved sin avskjed som bergmester i 1918 bevilget stortinget ham en årlig godtgjørelse av kr. 2500,00 til fortsettelse av hans entomologiske arbeider, mot at hans store insektsamling skulde tilfalle Universitetet i Oslo. I 1904 blev han innvalgt i det Norske Videnskaps-Akademi, gruppe VII (zoologi). Han var tillike stifter og en tid formann i Norsk entomologisk forening, og har også vært formann i Bergingeniørforeningen og medlem av N. I. F.s representantskap.

Jeg husker Ths. Münster best fra 1889, da Reusch efter Kjerulfs død i 1888 var blitt bestyrer av den geologiske undersøkelse. Münster arbeidet den gang på kartbladet „Lillehammer“ og jeg på det nordenfor liggende kartblad „Gausdal“. Jeg hadde det nevnte år funnet graptoliter tilhørende etasje 3 og 4 i fyllitten ved Brattland i Vestre Gausdal (tidligere kjente man kun dictyonema fra Holberget på Hardangervidda i denne formasjon). Mitt fund var en nyhet som interesserte Münster meget, og vi kom derved til å reise litt sammen i strøket hvor våre to kartblad støtte sammen. Jeg lærte da Münster å kjenne som en meget hyggelig kollega, glad i naturen og interessert i sitt arbeid. Han var friluftsmann, og man kan kanskje også si selskapsmann, men han var neppe noe videre glad i skrivebordet. Derfor har han heller ikke efterlatt sig stort av trykte geologiske skrifter. Hans omhyggelig utførte dagbøker har dog stor interesse og vil bli benyttet av dem som i fremtiden kommer til å foreta geologiske undersøkelser i de samme trakter.

Sin største vitenskapelige innsats har Ths. Münster visstnok gjort som zoolog i sin store coleopterasamling og de dermed forbundne publikasjoner, men de tas ikke med i dette korte riss av hans virksomhet som geolog. Om hans innsats som zoolog henvises til minnetale i Videnskapsakademiet av professor HJALMAR BROCH den 20de mai 1938 (Videnskaps-Akademiets årbok 1938).

Men vi hylder også hans minne som geolog.

Ths. Münsters geologiske publikasjoner:

Bemerkninger om Kongsbergmineralene. (Nyt Mag. for Naturv. Bd. 27, s. 309—322, 1883.)

Dagbok fra en reise i Jotunfjellene juli 1882. Nyt Mag. f. Naturv. Bd. 28. s 198—214, 1884.)

Foreløpige meddelelser om reiser i Mjøsegnene, utført for den geologiske undersøkelse sommeren 1889. (Norges geologiske undersøkelses skrifter nr. 1, s. 11—19, 1891.)

Tekst til kartbladet Lillehammer. (N. g. u. skr. nr. 30, 49 s., 1900.)

Innberetning om skredet i Værdalen. (St.prp. nr. 70, 1893.) — Sammen med W. C. Brøgger.

Talk-kleberstensfeltene i Lalmsgrenden, Vågå, tilhørende A S Østlandske steneksport. Lillehammer 1916. Trykt rapport merket konfidentielt.

Ths. Münsters skrevne dagbøker som opbevares i N. g. u. arkiv, angår undersøkelsesreiser (og til dels kjemiske bergartsanalyser) i Sogn (1883 og 1884), Tyin, Bygdin og Vinstervatn (1885), Åmot i Østerdalen. Eidsvoll (1886), (1887 og 1888 mangler), Ringsaker, Biri, Gausdal, Torpa (1889), Mjøstraktene, Gran og Tonsåsen (1890), Gran, strøkene omkring Dokkaelva (1891), Tonsåsen, Etnadalen, Østre Slidre og Gran (1892), Ringsaker, Biri, Søndre Land og Gran (1893), Gran og Asker (1894), Østre Slidre, Vågå, Biri (1895), Torpa, Vågå, Drammen (1896), Torpa, Dokkvatn strøket, Drammen (1897).

Ms. mott. jan. 28 1939.

NORSKE MINERALER AV BEIDELLIT-GRUPPEN

AV

TOM. F. W. BARTH

5 tekstfigurer.

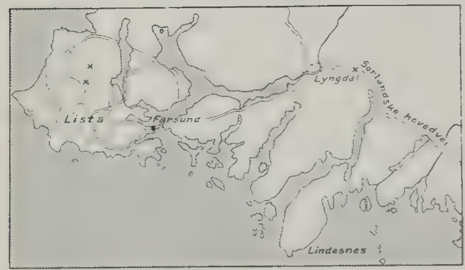


Fig. 1. Finnesteder for forvitringsleir. (×)

Beidellit er et av de mange leir-mineraler som dannes ved kjemisk forvitring av ymse bergarter. Den almindelige norske leir er som kjent av glacial oprinnelse og inneholder neppe noen nydannete leirmineraler, men består i alt vesentlig av finknust bergart (kvarts, feltsat,, glimmer, etc.).[1] Som først påvist av Reusch[2] har det imidlertid dannet seg en del kaolin på sprekker i anorthosit på Sørlandet, men kaolin (senere også iakttatt på Vestlandet) har stått som det eneste ekte silikatiske leirmineral kjent fra norsk forekomst. Det tør derfor være av interesse at også beidellit nå er funnet i Norge.

1. Forekomst.

De to best undersøkte forekomster er dannet ved forvitring av kvarts-monzonitiske bergarter på Sørlandet (se fig. 1): (1) I Oftedalsbakken på den Sørlandske hovedvei 2 km E for Lyngdal kirke. (2) Ved Egelandsbrokka på bygdeveien 1 km S for Ullgjellvatn på Lista. Forekomstmåten er ganske karakteristisk: Den faste bergart

---

[1] O. N. Rove: Norske lerer, IV, Statens råstoffkomité, publ. nr. 23.

[2] H. Reusch: En forekomst av kaolin og ildfast ler ved Dydland nær Flekkefjord. Norges geol. unders. årb. 1900, s. 99—103.

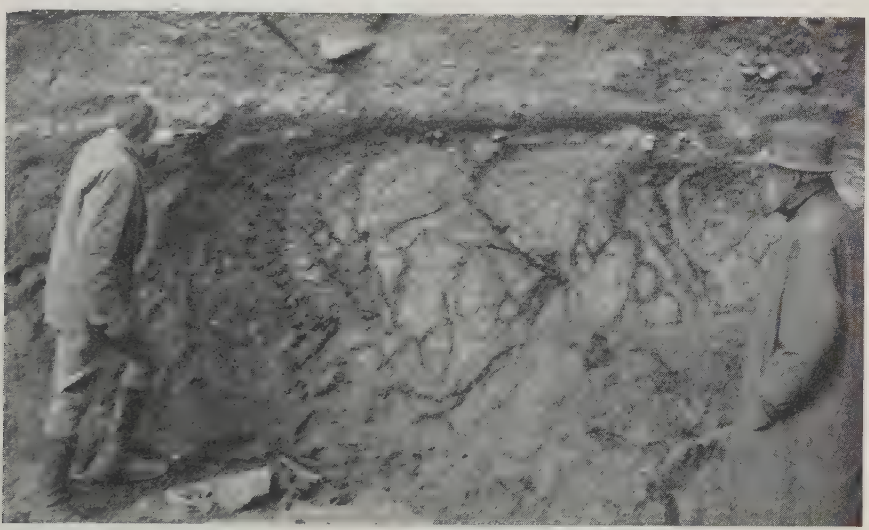


Fig. 2. Forvitret bergart ved Ullgjell. På dette sted har den vært tatt ut med hakke og spade og brukt som veigrus. På toppen ligger almindelig morene.

er „råtnet“ ɔ: den er lokalt blitt løs og leiraktig slik at den kan tas ut med spade. Utseendet er ganske eiendommelig, idet produktet ved første blikk synes å bestå av fast fjell. Det har fjellets farge og struktur; årer og lag optrer akkurat som en ser dem i en fast fjellvegg, og når en kommer nærmere, kan sogar de enkelte mineralkorn, som bygger op fjellet, skjelnes. Men går en helt hen, viser det seg at en med spade kan skave skiver ut av „fjellet“.

Jeg har sett liknende leirforekomster i de østlige atlanterhavsstater, Virginia og North Carolina i U. S. A. De opfattes av alle amerikanske geologer som interglacialt forvitringsleir. Jeg har også hatt høve til å vise fram forekomsten i Lyngdal til professor Waters fra Standford University, California. Uten betenkning betegnet han den som et utransportert forvitringsprodukt og tilføyet at helt analoge leirer finnes i veststatene i U. S. A.

Nå er imidlertid langt fra hele bergarten i Lyngdal gått over til leir. Det aller meste er ennå uforandret, derfor ser det også på avstand ut som fast fjell. Men hele fjellet er gjennomvevet av utallige, mikroskopisk fine sprekker som er fyllt med den leiraktige substansen (se fig. 3). Denne substansen består vesentlig av et beidellit-liknende mineral.

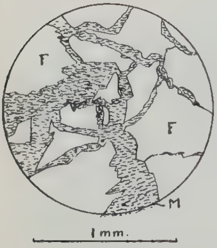


Fig. 3. Mikrobilde av forvitret bergart fra Lyngdal.
F = uforandret feltspat,
M = zoner av beidellit.

2. Kjemiske undersøkelser.

Tabell 1 inneholder analyser av helt frisk bergart og av den forvitrete bergart. Den friske bergart er typisk for dette område: Helt upresset, temmelig grovkornet kvarts-monzonit bestående av kvarts, mikroklinperthit, oligoklas (23 An), pyroxen, magnetit.

Analysene viser at forvitringsprosessen har forårsaket utluting av jern og kalk,[1] anriking av aluminium. Ellers er de andre konstituenter temmelig uforandret. Dette tyder på at kvarts og mikroperthit var stabile, mens oligoklasens anorthitkomponent var ustabil under forvitringsprosessen. Samtidig har beidellit utkrystallisert på sprekkene.

For å undersøke leirsubstansen nøyere ble den forvitrete bergart slemmet på almindelig måte i en Atterbergs slemmecylinder. Fraksjonen mellom 0,002 og 0,001 viste seg under mikroskopet å bestå av litt kvarts, mikroklin, plagioklas og jernoxyder, men mest av tynne

Tabell 1.

(1) Frisk og (2) forvitret bergart fra Ullgjell, Lista.
(Analytiker: (1) Barth, (2) Bruun.)

	1	2
SiO_2	66,03	66,16
TiO_2	1,15	0,23
Al_2O_3	13,90	17,28
Fe_2O_3	2,19	1.18
FeO	4,51	1,38
MgO	0,76	0,87
CaO	3,06	0,41
Na_2O	3,70	3,13
K_2O	4,49	5,00
H_2O	0,24	4,56
P_2O_5	0,25	-
Sum...	100,28	100,20

---

[1] Liknende resultat fås ved kunstig utluting av granitt med destillert vatn, se E. H. Davison: The Leaching of Granite and some other Rocks. Min. Mag. 1938.

glimmerliknende, fargløse flak av et leirmineral med lysbrytningsindex omkring 1.54. Tabell 2 viser analyser fra denne fraksjon samt de beregnete mineral-sammensetninger.

Tabell 2.

Analyser av kornstørrelses-fraksjonen 0,002—0,001 mm utslemmet fra forvitret bergart fra (1) Lyngdal og (2) Lista. (Analytiker: Bruun.)

	1	2
SiO_2	43,56	42,33
TiO_2	0,17	0,88
Al_2O_3	24,04	21,68
Fe_2O_3	12,27	15,69
FeO	1,20	0.44
MgO	1,60	0,82
CaO	spor	spor
Na_2O	0,68	0,58
K_2O	1.51	1,31
H_2O	15,07	16.27[1]
Sum	100,10	100,00
Kvarts	9,0	11,0
Orthoklas	8,9	7,8
Albit	5,8	4,3
$2\ Fe_2O_3 \cdot 3\ H_2O$	14,1	18,3
$Al_2O_3 \cdot 2\ SiO_2 \cdot nH_2O$	59,5[2]	55,6[3]
FeO, MgO etc.	3,0	2,1
Sum	100,3	99,1

[1] Differens. — [2] Nøyagtig formel: $Al_2O_3 \cdot 2\ SiO_2 \cdot 3.5\ H_2O$ — [3] Nøyagtig formel: $Al_2O_3 \cdot 2\ SiO_2 \cdot 4\ H_2O$.

3. Fysiske egenskaper.

De kjemiske undersøkelser er ikke tilstrekkelige til å identificere mineralet, for ikke mindre enn fire forskjellige leirmineraler synes å ha formelen: $Al_2O_3 \cdot 2\ SiO_2 \cdot 4\ H_2O$, nemlig: kaolinit, dickit, nakrit og metahalloysit.

Leirmineralet fra Sørlandet viser imidlertid en eiendommelig svelling i forbindelse med sorpsjon av vann. Denne egenskap er ikke karakteristisk for noen av de fire nevnte mineraler, men synes utelukkende å være bundet til mineraler av montmorillonit-gruppen.

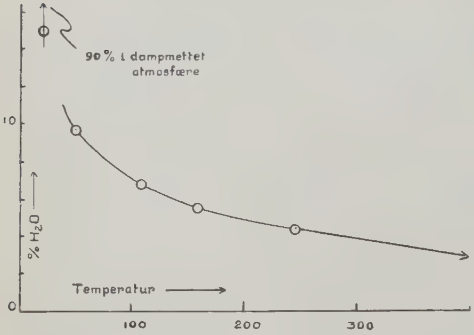


Fig. 4. Hydreringskurve for beidellit-holdig leir fra Lyngdal.

Forsøk viser nemlig at vanninnholdet ikke er konstant, men varierer med temperatur og luftfuktighet. En prøve fra Lyngdal i likevekt med laboratorieluft av 20° hadde 15,07 % H_2O. I likevekt med dampmettet luft av 20° hadde prøven 90,5 % H_2O.[1] Ved høyere temperatur avtar vanninnholdet gradvis (se tabell 3 og fig. 4). Denne hydreringskurve (fig. 4) er reversibel: ved avkjøling optar prøven nemlig atter vann fra luften og kommer nøyaktig tilbake til de gamle verdier. Denne egenskap har bare vært påvist hos mineraler av montmorillonitgruppen hvortil hører montmorillonit, beidellit og nontronit.

Lysbrytningen hos disse leir-mineraler er meget vanskelig å bestemme, både fordi mineralkornene er så små og fordi mineralene sorptivt kan opta immersjonsveskens molekyler, hvorved lysbrytningen endres. De beste verdier gjengis:

	α	β, γ	2 V
Lyngdal:	—	1,54	liten, negativ.
Lista:	1,51	1,535	ca. 0°, negativ.

Tabell 3.

Hydreringskurve for leirstoffet fra Lyngdal (kornstørrelsesfraksjon 0,002—0.001 mm).

Tilstand	Inneholder % H_2O
I dampmettet atmosfære, 20°	90,5
Lufttørret i lab. 20°	15,07
50° C	9,72
110° C	6,82
175° C	5,56
245° C	4,60
Glødet	0,0

---

[1] Prøven blev satt i en exciccator med vann.

4. Diskusjon.

Etter Nagelschmidt kan det kjemiske innhold av montmorillonitgruppens mineraler fremstilles ved følgende trekantdiagram (fig. 5). De der benyttede formler skulde gjelde for vannfri substans. Men i virkeligheten har det ikke vært mulig å angi en sikker kjemisk formel for alle disse mineraler. For monmorillonit angis av flere franske og amerikanske forfattere forholdet $SiO_2 : Al_2O_3 = 5 : 1$, mens tyske og engelske forfattere som regel setter $SiO_2 : Al_2O_3 = 4 : 1$. For beidellit angir de fleste forfattere $SiO_2 : Al_2O_3 = 3 : 1$. Nagelschmidts[1] formel er da også bare å betrakte som en „ideal“-formel, idet han uttrykkelig gjør opmerksom på at Si i 4-koordinasjon delvis erstattes av Al. Derfor vil $SiO_2 : Al_2O_3 < 4 : 1$ (dessuten er endel Al her erstattet med Fe). For nontronit hersker ennu større usikkerhet idet etter de foreliggende analyser forholdet $SiO_2 : R_2O_3$ varierer fra 4,72 til 1,64.

I et sammenfattende arbeid har v. Engelhardt[2] bl. a. opført en hel del analyser av forskjellige leir-mineraler og etter hans tabeller er det utvilsomt at forholdet $SiO_2 : R_2O_3$ avtar fra montmorillonit (med maximum ca. 7 : 1) gjennom beidellit til nontronit (med minimum ca. 1,6 : 1). Lysbrytningsindices er for montmorillonit og beidellit: $\beta \sim \gamma =$ ca. 1,53, for nontronit: $\beta \sim \gamma$ ca. 1,60.

Betraktes nå analysen i tabell 2, synes det som om leir-mineralene både fra Lyngdal og Lista må ha et forhold $SiO_2 : Al_2O_3 =$ ca. 2 : 1.

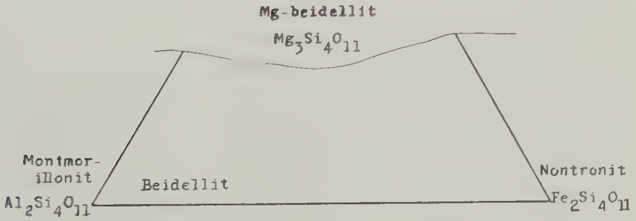


Fig. 5 Montmorillonit-gruppens mineraler (etter Nagelschmidt).

---

[1] G. Nagelschmidt: Atom Arrangement and Variability of Members of the Montmorillonite Group. Min. Mag. *25*, 1938, s. 140.

[2] W. v. Engelhardt: Über silikatische Tonminerale, Fortschr. d. Min. etc. *21*, 1937. Se også: A. F. Hagner: Adsorptive Clays of the Texas Gulf Coast. Amer Min. *24*, 1939. s. 67—109.

Analysene kan sogar godt beregnes slik at forholdet blir ennå mindre, nemlig ved å la noe av det tre-verdige jern gå inn som konstituent i leir-mineralet. Men for å få forholdet større, måtte en enten tenke seg endel alkali adsorptivt bundet til beidellit, hvorved feltspatinnholdet ville gå ned, eller at leira inneholdt endel beauxit eller liknende aluminiumshydroksyder. Under ingen omstendigheter kan en dog få $SiO_2 : Al_2O_3 > 3 : 1$.

Ingen analyse av ekte montmorillonit viser $SiO_2 : Al_2O_3 < 4 : 1$; men hos beidellit er forholdet $SiO_2 : Al_2O_3 \gtrless 3 : 1$.

Nærværende undersøkelse har altså vist:

I de typiske leir-mineraler fra Lyngdal og Lista er vanninnholdet ikke konstant men varierer med luftens temperatur og fuktighet. Mineralene må derfor tilhøre montmorillonit-beidellit-nontronit-gruppen. Lysbrytningen stemmer ikke med nontronit, og den kjemiske sammensetning stemmer dårlig med montmorillonit, mens både kjemisk sammensetning og fysiske egenskaper stemmer noenlunde bra med beidellit.

Beidellit ble først beskrevet fra Amerika.[1] Data fra originalforekomsten gjengis i tabell 4.

Tabell 4.

Analyser av beidellit fra (1) Beidell, Colorado[2] *og (2) Lista, Norge.*[3]

	1	2
SiO_2	47,28	42,33
TiO_2	—	0,88
Al_2O_3	20,27	21,68
Fe_2O_3	8,68	15,69
FeO	—	0,44
MgO	0.70	0,82
CaO	2,75	spor
Na_2O	0,97	0,58
K_2O	spor	1,31
H_2O	19,72	16,27
α	1,494	1,51
β og γ	1,536	1,535
(—).2 V	"small"	ca. 0°

---

[1] E. S. Larsen and E. T. Wherry: Journ. Washington Acad. Sci. *15*, 1925, s. 465

[2] Etter Ross and Shannon: Journ. Washington Acad. Sci. *15*, 1925, s. 467.

[3] Forurenset med feltspat, jernoksydet etc., se tekst og tabell 2.

5. Oprinnelse.

Nærmest skulde jeg tenke meg disse leir-mineraler framkommet ved preglacial (tertiær) forvitring. Det kreves ikke noe spesielt varmt klima for at slike mineraler skal dannes. I Amerika optrer de som nutidsdannelser helt nord til den sydlige del av staten Oregon. Men i vårt nåværende klima kan de neppe dannes. Det synes derfor rimeligst at de må være rester fra en preglacial tid. En skulle da ha chance til å finne dem som rester i kløfter eller sprekker som lå beskyttet mot breene fra den siste istid. Men forekomstene ved Lyngdal og på Lista ligger slik til, geografisk sett, at de på ingen måte kan sees å ha vært beskyttet mot breene. Særlig gjelder dette forekomstene på Lista. De ligger her på et framspringende sted litt oppe i vestre side av en N—S gående flat dal. Under en nedisning synes det sikkert at dette stedet måtte ha vært særlig utsatt for is-erosjonen. Det er derfor vanskelig å forklare denne forekomst på en plausibel måte.

Efter iakttakelser av lektor Wettergreen Jensen fins det ingen is-skurte fjell-nabber på Lista eller i skjærgården ved Farsund. Dessuten er de lave fjellene takkete og spisse og har i det hele tatt en form som tyder på at de ikke har vært dekket av innlandsisen. Dette står i motsetning til fjellene like nord for Lista. Disse rent glacial-geologiske problemer skal imidlertid ikke diskuteres videre her.

6. Andre forekomster av leir-mineraler i Norge.

Som nevnt i innledningen finnes kaolin-mineraler på sprekker i anorthosit på Sørlandet (også på Vestlandet). En analyse av leirstoffet fra en forekomst ved Dydland (offentliggjort av Reusch) sammen med optiske bestemmelser som jeg siden har foretatt er i tabell 5 sammenstillet med tilsvarende data fra en amerikansk forekomst.

Et ikke-silikatisk leirprodukt, nemlig laterit, kan, som Goldschmidt[1] har påvist, dannes ved forvitring av basisk plagioklas.

Andre nøyere undersøkte forekomster i Norge kjenner jeg ikke, men jeg tror likevel at videre feltundersøkelser vil vise at

---

[1] V. M. Goldschmidt: Om dannelse av laterit som forvitringsprodukt av norsk labradorsten. Festskrift til Sørlie, A. W. Brøggers boktr., 1928, s. 20.

Tabell 5.

Analyser av (1) kaolin fra Dydland (etter Reusch, l. c.) og (2) kaolinit fra Pontiac, S. C. (etter referat av v. Engelhardt, l. c.)

	1	2
SiO_2	47,83	45,56
Al_2O_3	34,53	37,65
Fe_2O_3	1,7	1,35
MgO	0,59	0,07
CaO	0,48	0.10
Na_2O	ik. best.	1.16
K_2O	ik. best.	0,11
H_2O	13,76	14,42
Sum...	98,89	100,61
α	1,52	1,553
β	1,557	1,559
γ	1,557	1,560
(—) 2 V	liten	42°

vi mange steder her i landet har spredte forekomster av ekte leirmineraler.

Fra Skogset i Hurdal ble det innsendt til Mineralogisk Institutt et leiraktig stoff som skulde finnes i „store mengder“. Under mikroskopet viste det sig å være meget rent og likne på kaolinen fra Dydland:

$$\alpha = 1{,}54;\ \beta \sim \gamma = 1{,}56,\ 2V \text{ er liten, negativ.}$$

Et liknende leirstoff, men meget mere urent ble funnet av professor Holtedahl på Land. I denne prøve er det en hel del muskovit, men dessuten et kaolin-liknende mineral med $\beta \sim \gamma = 1{,}55$.

Ved Nøklevatn i Østmarka ved Oslo finnes „råttent fjell“ som tildels minner sterkt om det ved Lyngdal, men selve leir-mineralene minner under mikroskopet mere om kaolin enn beidellit: Sammen med bruddstykker av mikroklin og muskovit ser en små skjell av et leir-mineral med lysbrytningsindex omkring 1,54 til 1,55.

Ved Flatevarp (nær Porsgrunn) er det noen store sprekker i fjellet hvori lektor Wettergreen Jensen har funnet en forvitringsleir som minner om beidellit.

Det kan i denne forbindelse også nevnes at to meget finkornete finnlandske leirer — dannet på samme måten som våre norske leirer — synes a holde temmelig meget av et ekte leir-mineral.[1]. Og i et feltspatbrudd i Finnland mener Lokka[2] å ha funnet beidellit som omvandlingsprodukt etter glimmer. Men fysikalsk-optiske bestemmelser mangler.

Følgende uttalelse av Sederholm[3] er overordentlig interessant: "Verwitteruggsschutt liegt allerdings noch an gewissen Stellen innerhalb Fennoskandias bewahrt. So ist der Felsengrund im südlichen Enare im Finnisch-Lappland bis zu einer Tiefe von 10—30 m verwittert, zuoberst in dem Masse, daß das Gestein mittels Schaufel ausgegraben werden kann, obgleich in demselben alle Einzelheiten der Struktur, wie Faltung, Adern u. dgl. noch gut beobachtet werden können". — Her gjengir Sederholm et fotografi som er forbausende likt fig. 1 i denne avhandling. Han fortsetter så: „Dieses Gebiet liegt allerdings am früheren Eisteiler, und die „Exaration" war hier aus leicht erklärlichen Gründen wenig oder garnicht wirksam. . . . . Dagegen ist der Mangel an präglacialen Verwitterungsprodukten ein auffallender Zug in den meisten anderen Teilen Fennoskandias".

Kaolin har også vært funnet i Finnland,[4]

Tilslutt skal nevnes at det beidellit-holdige forvitringsmaterial ved Lyngdal og på Lista med fordel er blitt anvendt som veigrus. Utlagt på veibanen skaper det nemlig en hard og jevn overflate som ikke støver i godvær og ikke søler i regnvær.[5] I Vest-Agder har dette stoff vist seg all annen naturlig veigrus overlegen.

De ovenfor gjengitte undersøkelser har gjennom Handelsdepartementet vært bekostet av midler som Rådet for Teknisk-industriell Forskning har stillet til min rådighet.

---

[1] B. Aarnio: Über die Tone Finlands und ihre Eigenschaften, Agrogeologisia Julkaisuja, No. *46,* 1938.

[2] L. Lokka: Über den Chemismus der Minerale eines Feldspatbruches in Kangusala, Bull. Comm. Geol. Finlande, No. *111,* 1935.

[3] J. J. Sederholm: Bruchspalten und Geomorphologie von Fennoskandia. Bull. Com. Geol. Finland, No. *37,* 1913, p. 33—35.

[4] B. Frosterus: Über Kaolin im kristallinen Felsgrunde Finnlands. Fennia *50* Nr. 39, 1928. Idem: Anmerkung zu einem Vortrage und einem Aufsatze von Dr. H. Väyrynen: Über den Chemismus der finnischen Kaolinvorkommen. Compt. rend. Soc. Géol. Finlande 1929, Nr. *2.* H. Väyrynen: Geologische und petrographische Untersuchungen im Kainungebiete. Bull. Comm. Géol: Finlande 1928, Nr. 78.

[5] En utførligere beskrivelse har jeg gitt i „Meddelelser fra Veidirektøren" Nr. 8, 1938.

Etter at foranstående var skrevet ble i løpet av våren 1939 ytterligere funnet følgende forekomster av beidellit-holdig forvitringsleir; alle i Vest-Agder: 1) En ca. 1.5 km lang zone ved Skarstad på heia mellom Mandalen og Audnedal. 2) Ved Skogsfjord bru 5 km W for Mandal. 3) En zone mellom Spetland og Haddeland samt en forekomst ved Urdal i Mandalen (ca. 6 km N for Mandal). 4) Ved Berge Sag ved hovedveien 3 km E for Mandal. 5) Ved Systad på Røyslandsveien ca. 5 km E for Møll bru. 6) Ved vestre ende av Groheia-tunellen (ved Farvatnet) på Sørlandsbanen ca. 9 km W for Kristiansand.

Summary in English:

Beidellite Minerals from Southern Norway.

The common Norwegian clays are glacial in origin and contain essentially fine-ground rock powder (quartz, feldspar, mica, chlorite, etc.) without any new-formed crystals of clay minerals. Beidellite is thus a new mineral for Norway. The occurrences here described (see Fig. 1) are supposed to have formed through rock weathering in pre-Glacial time.

Table 1 contains: (1) an analysis of fresh rock, and (2) an analysis of the weathered rock. The weathered rock is dissected by innumerable fine cracks filled with a clayey substance containing beidellite. Analyses of the clayey substance are entered in Table 2. The calculated formula for this beidellite is approximately: $Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2 \cdot nH_2O$. The mineral posesses characteristic water sorptive properties (see Tab. 3 and Fig. 4). Optical data:

$$\alpha = 1{,}51,\ \beta \sim \gamma = 1{,}535,\ (-)\,2\,V = \text{ca. } 0^\circ.$$

In spite of the low silica content ($SiO_2 : Al_2O_3 = 2 : 1$ instead of 3 : 1) the physical properties of this mineral places it with the beidellite family.

Mineralogisk Institutt.

25. Januar 1939.

Ms. rec. May 20, 1939.

NOTE ON THE WÖHLERITE GROUP

BY

O. KRAUS

In 1937 (Norsk geol. tidsskrift. *17.* 17—30) M. A. PEACOCK published an investigation on rosenbuschite, in which he showed, that this mineral has the chemical composition $(Na, Ca, Mn)_{12} (Fe^{III}, Ti, Zr)_4 (Si_8O_{32})F_4$. The unit cell is triclinic. The relation to wollastonite, suggested by BRØGGER, could not be confirmed. PEACOCK believes that the mineral belongs to the wöhlerite group, apparently without knowing that the wöhlerite group already had been investigated.

X-ray data obtained in 1934 by B. GOSSNER and the author (Centralbl. f. Min. A. 72—79), show that there are indeed close relations in structure and chemical composition between rosenbuschite and the minerals of the wöhlerite series. All these minerals have similar unit cells and the chemical formula is of the same type.

The results of this investigation are:

	a	b	c	α	β	γ
wöhlerite (monoclinic)	10.80 Å	10.26 Å	7.26 Å	90°	108° 57′	90°
låvenite (monoclinic)	10.93	9.99	7.18	90°	110° 18′	90°
hiortdahlite (triclinic)	10.91	10.29	7.32	90° 29′	108° 50′	90° 8′

And PEACOCK found:

	a	b	c	α	β	γ
rosenbuschite (triclinic)	10.12	11.39	7.27	91° 21′	99° 38½′	111° 54½′

Exchanging a and b in rosenbuschite, the correspondence between the four minerals in the lattice constants is evident. The type of the formula found by GOSSNER and the author is the same. The fact that different authors come to the same result, proves that the given data for the minerals of the wöhlerite group may be considered right.

Munich, Mineralogical Department
of the University.

Ms. rec. June 17, 1939.

ARMENITE, A NEW MINERAL

PRELIMINARY NOTE

BY

HENRICH NEUMANN

In the present paper a short description is given of a new mineral which is found on the silver-bearing calcite-veins near Kongsberg. The mineral is named after Armen Mine, the only locality in which it is found.

The only existing specimen was collected in this mine by cand. min. O. A. Corneliussen in 1877. He signed it "Epidote?", and as such it has been kept in the collections of the university until it was rediscovered by me last February.

Crystallography. Pure armenite is colorless and has well developed prismatic pseudohexagonal crystals with poorly developed terminal faces. The crystals attain a size of $1\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}$ cm. The pseudohexagonal form is due to twinning along an axis parallel to the optic direction α. Armenite has three cleavages ‡ α cutting each other under nearly 60°; it may also be a cleavage $\perp \alpha$. The crystals may be rhombic (?).

Chemistry. A chemical analysis carried out by stud. mag. scient. Lars Lund shows that the mineral is a water-bearing alumo-silicate of Ba and Ca. The chemical composition approximately corresponds to the formula $BaCa_2Al_6Si_8O_{28} \cdot 2H_2O$. The analysis and a discussion of the formula will be published later.

Physical properties. Armenite is biaxial negative with the acute bisectrix near $60° \cdot \beta = 1.559 \pm 0.002$ and $\alpha = 1.551 \pm 0.002$. The hardness is between 7 and 8, and the specific gravity is 2.77.

The systematic position of armenite is still uncertain, but I hope to be able to discuss this matter in a later paper.

Occurrence and paragenesis. As mentioned above armenite is found in a silver-bearing calcite-vein near Kongsberg. It crystallized directly on the wall of the vein and was later encompassed by calcite. Other minerals occurring together with armenite on this specimen are pyrrhotite, axinite, and quartz. They are all younger than armenite except possibly pyrrhotite, the age of which is not quite certain.

Acknowledgements. I want to thank stud. mag. scient. Lars Lund for his exellent assistance in the chemical work.

Thanks are also due to the director of Mineralogisk Institutt Professor Tom. F. W. Barth and the director of Mineralogisk Museum Professor V. M. Goldschmidt for their kind help and advice, placing the facilities of both institutions to my disposal during this work.

The work is done with grants from the Sulitelma Fund.

Mineralogisk Institutt, Oslo.
June, 1939.

Ms. rec. Apr. 29, 1939.

ON THE OCCURRENCE OF TIN IN NORWEGIAN MINERALS

BY

IVAR OFTEDAL

Abstract. A large number of Norwegian minerals were examined by means of optical spectrograms. In the present paper are listed those which were found to contain tin. They are almost exclusively minerals from sulphidic ore deposits and minerals from pegmatites. (In some pegmatite minerals tin has been found earlier bv chemical methods. These are quoted, with references, as completely as possible.) Tin contents as high as 1 % are quite exceptional and have so far been found (not counting the nordenskiöldine) only in samples of yttrotantalite, samarskite, thortveitite, and perhaps ilmenorutile. Tin contents lower than 0.001 % in sulphide minerals and lower than 0,01 % in the other minerals can generally not be detected by the method here applied, therefore these figures will mark the upper limit of the contents for those minerals in which no tin was found. Although this investigation reveals the occurrence of tin in a considerable number of Norwegian minerals it confirms the general impression that Norway is particularly poor in tin: the highest percentages are found only in very rare minerals.

It is well known that tin has been found in Norway only in rare cases and in quite small quantities. The following is a complete list of the data I have been able to trace in existing literature.[1]

In Gmelin-Kraut's Handbuch (l. c.) is quoted that tin has been found in tritomite from Brevik, in fergusonite from Hampemyr, Tromøy, and in „all Scandinavian epidotes“.

I. and W. Noddack[2] have given Sn-concentrations for more than 40 Norwegian minerals. The figures are, however, mostly far below the sensitivity limit of the method applied in the present investigation, so that it is no use quoting them for comparison. It also

---

[1] A collection of older data and references concerning tin in minerals in general is found in Gmelin-Kraut's Handb. d. anorg. Chemie, Bd. IV, 1, 233 ff., 1911.

[2] Die Geochemie des Rheniums, Zeitschr. phys. Chem., Abt. A, *154*, 214 ff. 1931.

(*The percentages are given in round figures calculated as Sn.*)

Mineral	% Sn	Reference
Nordenskiöldine, Langesundsfjord	42.5	W. C. Brøgger, Zeitschr. Krist. *16*, 1890.
Xenotime, —„—	0.1	
Polymignite, Stavern	0.1	
Pyrochlore —„—	0.5	
Fergusonite, Berg, Råde	0.8	W. C. Brøgger, Vid. Akad. Skr. I, 1906, No. 6,
—„— Arendal (3 anal.)	0.5	
Mossite, Råde	0.2	
Columbite, Ånnerød, Våler	0.6	
—„— Fuglevik, Råde...........	0.4	
Euxenite, Alve, Tromøy	0.2	
Blomstrandine, Arendal	0.2	
—„— Hidra (Hitterøy)	0.1	
Samarskite, Ødegårdsletten, Våler......	0.5	
—„— Aslaktaket —„—......	0.1	
Yttrotantalite, Berg, Råde	1.0	
—„— Hattevik, Dillingøy	2.4	
„Ånnerødite“, Ånnerød, Våler.........	0.1	W. C. Br., G.F.F. Sthlm., *5*, 1881.
Xenotime, Hvaløy..................	0.2	C. Blomstrand, G. F. F. Sthlm., *9*, 1887.
—„ Narestø b. Arendal	0.1	
Monazite, Hvaløy	0.1	
—„— Dillingøy	0.1	
—„— Moss (2 anal.).............	0.2	
Euxenite, Setesdal (2 anal.)	0.1	Anal. 1909-10, quoted in Doelter's Handb.d.Min.-Ch., Bd. III, 1, 1918.
—„— Eitland, Farsund	0.1	
Priorite, Frikstad, Iveland	tr.	J. Schetelig, Vid. Akad. Skr. I, 1922, No. 1.
Risørite, Gryting, Gjerrestad	tr.	

makes some difficulty that many of the localities are given only approximately and one or two obviously incorrectly (e. g. cleveite, Brevik). However, one or two cases of definite disagreement will be mentioned in their turn.

The following older data are considered doubtful by the authors.

Eucrasite, Langesundsfjord.	W. C. Brøgger, Z. Krist. *16*, 1890.
Vesuvianite, Talvik, Seiland.	Tom. Barth, Vid. Akad. Skr. I, 1927, No. 8.
Cassiterite, Glitrevatn, Modum.	W. C. Brøgger, 1. c., p. 76, and V. M. Goldschmidt, Kontaktmetam. p. 280.

All the minerals listed, not counting the doubtful cassiterite and the certainly also doubtful epidote, are pegmatite minerals, mostly rare. The only real tin-mineral, the nordenskiöldine, is extremely rare in Norway[1].

---

[1] Larger quantities of nordenskiöldine have lately been found in Arandis, SW-Africa. P. Ramdohr, N. Jahrb. f. Min. &c., BB. *68*, 288, 1934.

In the course of some spectrographic work, primarily not done for the special purpose of tracing tin, I found that tin enters into a considerable number of Norwegian minerals, also of other kinds than those listed above. The concentrations are, however, very low, only seldom as high as 1 %. The first accidental observations I have now supplemented systematically to some extent. But of course the following does not pretend to approach a complete account of the distribution of tin in Norway.

The spectrograms were all made with a quarz spectrograph, constructed by dr. R. Mannkopff in Göttingen, in the ultraviolet. For the identification of tin were used the two lines 3175.04 and 2839.99, sometimes chequed by several others. In the region of these lines the spectrograph gives a dispersion corresponding to 5 to 7 Å per mm on the plates, and the lines are very sharp and narrow. Under these circumstances the two tin lines are both disturbed by other elements only in very special cases, so that by careful work and not too low intensities there is no danger of making mistakes. As to the concentration of the tin the order of magnitude was determined by comparison with spectra of standard mixtures containing known percentages of tin ranging from 1 % to 0.001 %. As the intensities of the spectral lines of a minor constituent at a given concentration may depend considerably on the nature of the main substance the mixtures were made to correspond roughly to the types of minerals examined. The minerals found to contain tin and listed below are almost exclusively sulphides (mostly zinc blendes and galenas) and rare earth minerals, therefore sets of standard mixtures were made with ZnS, PbS, thalenite, and blomstrandine (poor in tin) as main substances, further albite was used for one mixture. The intensities of the tin lines in equivalent ZnS and PbS mixtures agree very well, and it is possible to trace tin in them down to a concentration somewhat below 0.001 %. It is found that these mixtures give good results not only for zinc blendes and galenas but also for chalcopyrite, and it may be assumed that they will apply fairly well also to other sulphide minerals. The thalenite mixture was made for comparison with rare earth silicate minerals. The tin lines here turn out to be somewhat weaker than in equivalent sulphide mixtures and can hardly be traced much below 0.01 %. In the blomstrandine mixtures, made in view of the rare earth niobates and tantalates, the tin lines are still weaker at corresponding concentrations and disappear entirely at about 0.01%. This strong weakening is — in any case partly — due to the fact that spectra of rare earth niobates and tantalates generally show a very heavy continuous background blackening.[1] The albite mixture shows rather high intensities of the tin lines, not very much lower than the equivalent sulphide mixtures. It was used for the examination of ordinary silicate minerals and tentatively also in a few other cases (e. g. chrysoberyl).

As an artificial mixture is physically different from the powder of the corresponding natural mineral and therefore may behave differently in the carbon arc the comparability of their two spectra is not beforehand secured. Special precautions may be necessary to produce reliable comparison spectra. In the above cases it seems well ascertained that fairly good comparison spectra have been obtained, so that the following figures will give roughly the correct values of the Sn-concentrations. The percentages are generally expressed only in whole powers of 10. The signs > and < sometimes prefixed are meant to alter the values not more than half way to the next power of 10.

1. Sulphidic ore deposits.

The minor constituents of Norwegian sulphide minerals, especially zinc blendes and galenas, will be dealt with more fully in a future publication. Here will be listed only those in which tin has been found.

a. Contact deposits of the Oslo Region.

Minerals from some twenty different localities have been examined, including the majority of the larger zinc and lead deposits. They are on the whole extremely poor in tin, the only positive data being the following:

---

[1] The importance of this background effect has been emphasized very much by L. W. Strock. See Tidsskr. f. Kjemi og Bergv. Nr. 6, 1938.

		% Sn
Zinc blende	Sande Zinc Mine	< 0.001
Gangue (essentially garnet)[1]	—	0.001
Zinc blende	Kirkeby, Hakadal	trace
Manganese garnet[1]	Nyseter, Grua	0.01

The tin supposed to be present in quarz porphyry greisen in the Glitrevann district could not be detected in a sample labelled Ilenseter—Maurtjern, collected by V. M. Goldschmidt. I may also mention that epidote from Glomsrudkollen was examined with negative result.

b. Deposits in the southern Pre-Cambrian area.

Minerals from nearly 30 single localities were examined, including deposits of various kinds and certainly very different ages. Tin was found in the following:

		% Sn
Chalcopyrite	Thoreby, Varteig	0.001
Zinc blende	Hen, Ådalen	trace
—	Kongsberg district	< 0.001
—	—	0.01
—	Skara, Eiker	trace
—	Sandåen, Gjerpen	< 0.001
Galena	Espeland Mine, Vegardshei	0.001
Niccolite	Stølsvik, Hisøy	0.01
Zinc ore	Sauda Zinc Mine, Rogaland	trace

I may mention in particular that among the localities examined with negative results were 5 copper deposits in Telemark and Nore, the Bleka Mine, Bandak and Knaben (molybdenite), Skutterud, Tråk in Bamble, Skytmyr in Froland (zinc blende), Flåt Nickel Mine.

c. Deposits in other parts of Norway, mainly of Caledonian age.

Minerals from about 25 localities were examined. Tin was found in the following:

---

[1] Traces of tin have been found also in other Oslo Region garnets (Gjellebekk and Kalkovnen, Grua). V. M. Goldschmidt, unpublished data from Göttingen. Verbal information.

		% Sn
Galena[1]	Skjoldevik near Haugesund	<0.001
—	Krækjaheia, Hardangervidda	trace
—	Hestekletten, Røros	0.001
Zinc blende	Storvarts, Røros	<0.001
Galena	Eiterjorden, Beiarn	<0.001
Lead-zinc ore	Svenningdalen	0.001
Plumosite[2]	Forvik, Helgeland	0.01
Zinc blende	Bjørkåsen Mine, Ofoten	>0.01
Chalcopyrite	—	>0.01
Galena[3]	—	(<)0.1
"Bismuthinite"[3]	—	>0.01
Zinc blende	Murstrand[4], Ofoten	0.001
—	Hamrefjell[4] —	trace

Among the deposits examined with negative results were Vigsnes, Røstvangen, (in these only zinc blende examined) Løkken and Mofjellet.

2. Other ore deposits.

I have examined iron ores from Lyngrot, Klodeberg, Alve, Solberg, zinc blende from the iron deposits Langsæ, Mørefjær, Bråstad and epidote from Torbjørnsbu, all these in the Arendal district, further iron ores from Dobbe mine near Kragerø, from Søftestad, Rødsand, Sør-Varanger and from a number of smaller deposits, without finding tin in any of them. The same applies to chromite ore from Feragen, to tungsten ore from Ørsdalen and — it may be added here — to minerals from apatite deposits in Bamble and in the districts of Kragerø, Risør and Arendal. In sphene from Kragerø (in chlorite) was found trace (<0.01 %) of tin.

---

[1] Rich in Bi, octahedral parting. J. Schetelig, N. g. t. *4*, 147, 1916—17.

[2] Specimen lately given to the Museum by Dr. C. W. Carstens, along with a specimen of berthierite from Ringvassøy. The latter did not show any trace of tin.

[3] The samples were kindly sent me by Mr. J. Ellingsen, Superintendent of the Bjørkåsen Mines. The galena is rich in Bi and shows excellent octahedral parting. The "bismuthinite" is very rich in lead and might belong to the doubtful species galenobismuthite. More information about these minerals will be given elsewhere.

[4] Samples sent me for examination by Mr. Steinar Foslie of the Geological Survey. I am indebted to him for the permission to publish the results.

3. Pegmatite minerals.

a. Oslo Region.

The following minerals from the Langesund and Larvik districts have been found to contain tin:

		% Sn
Galena	Eikaholmen	< 0.001
—	Låven	0.001
Eucolite	Eikaholmen	0.01
Mosandrite	Låven	< 0.01
Polymignite	Stavern	0.01
Pyrochlore	Larvik	0.1

No tin was found in zinc blende, molybdenite, zircon, orangite, lepidomelane, cryptoperthite.

b. Granite pegmatites of the southern Pre-Cambrian area.

Moss district.

		% Sn
Brøggerite	Karlshus	0.01
Samarskite	Brøggerhullet	> 1
—	Aslaktaket	0.1
Yttrotantalite	Hattevik, Dillingøy	> 1
—	Berg	> 0.1

Tin was not found in columbite (Ånnerød) and fergusonite (Berg).

Kragerø district.

		% Sn
Columbite	Tangen	0.1
Betafite	—	0.1

Tin was not found in phenacite, hellandite, alvite, thorite.

Risør—Arendal.

		% Sn
Cleveite	Ausel	0.01
Ilmenorutile	—	0.1
Yttrotitanite	Mørefjær	< 0.01
Euxenite	Alve	0.1
—	Gjerrestad	0.1

Tin was not found in risørite (Gryting), allanite (Noddeland), orangite (Fogne), thorite, microcline and oligoclase (Arendal).

Iveland—Evje.

		% Sn
Galena	Landsverk	0.001
Chrysoberyl	Nateland (2 samples)	0.1
Ilmenite ("platejern")	Iveland	< 0.01
Magnetite	Torvelona	0.01
Spessartite	—	> 0.01
Thortveitite[1]	—	> 1
—	Ljosland	1
—	Tjomstøl	1
—	Eftevatn	1
—	Iveland	0.1
—	Unneland	< 0 1
—	Håverstad	1
Ilmenorutile	—	> 0.1
Yttrotitanite	Iveland	0.1
Samarskite	Tveit	0.1
Blomstrandine	Kåbuland	0.01
Microlite	Landås[2]	0.1
Tantalite	—	0.01
Spessartite[3]	—	0 01
Mica (greenish)	—	0.01
Topaz[3]	—	0.001

---

[1] For comparison was also examined the thortveitite from Befanamo, Madagascar. The spectrum indicates about 1 % Sn, in very good agreement with the Iveland thortveitites. Trace of tin has earlier been found in the Madagascar thortveitite, Ch. Boulanger et G. Urbain, C. R. Paris, No. 23, 1922, quoted by Schetelig, Vid. Akad. Skr. I, 1922, No. 1. p. 83.

[2] For situations and descriptions of localities in Iveland and Evje see H. Bjørlykke, N. g. t. *14*, 1935, 211 ff. Many of the specimens examined are taken from his research material.

[3] Topaz and spessartite from Landås are exceptionally rich in *germanium*. The topaz probably contains about 0.1 % Ge, and the spessartite somewhat less.

Tin was not found in bismuthinite (Iveland), molybdenite (Tveit), biotite (Ljosland), cleavelandite-quarz-beryl-alvite (Landås), beryl (Torvelona: trace of tin is present but also scandium, so that the tin is probably due to intermixture with thortveitite), thalenite (Ivedal and Høgetveit), gadolinite (Frikstad), xenotime (Ertveit), monazite (Mølland and Nateland), fergusonite (Høgetveit).

Hidra (Hitterø).

	% Sn
Polycrase	0.1
Blomstrandine	0.1

Tin was not found in molybdenite, gadolinite, malacon.

c. *Pegmatites of Northern Norway.*

Hundholmen, Tysfjord.

Thalenite, gadolinite, yttrofluorite did not show any trace of tin.

Seiland.

Biotite and the vesuvianite mentioned above were examined, with negative results.

4. Spectra of a few **ordinary rock-forming minerals**, e. g. rhomb porphyry felspar, biotite from micaschist, olivine from dunite, did not show any trace of tin.

Conclusion.

It will be seen that small quantities of tin are found in a considerable variety of Norwegian minerals which, however, largely belong to only two main types of deposits, namely sulphidic ores and pegmatites. The average concentration of tin in the upper lithosphere is according to V. M. Goldschmidt[1] about 40 g per ton (0.004 %), so that most of the figures given in this paper represent relative enrichments. Compared with the concentrations in the surrounding rocks the enrichments are doubtless in general, and probably without exception, very strong. This means a confirmation of the experience of the mining geologists that Norway is particularly poor in tin.

---

[1] Geochem. Verteilungsges. IX, Vid.-Akad. Skr. I. 1937, No. 4, p. 92.

The tin contents in sulphide minerals will be dealt with elsewhere. It may only be mentioned here that tin, when present in sulpidic ore deposits of types common in Norway, is found to enter almost exclusively into galena, zinc blende, and chalcopyrite[1] and not into pyrite and pyrrhotite. The distribution of tin between galena and zinc blende in one and the same deposit is highly variable with the type of deposit and is obviously a function of the conditions of formation. The contents are all very low but have been found both in Pre-Cambrian, Caledonian and Oslo Region deposits. The highest concentrations have been found in the Bjørkåsen Mine, Ofoten. Tin has so far not been detected in any deposit belonging to the Telemark System, nor in pentlandite-pyrrhotite ore.

As to the pegmatite minerals a comparison shows that the earlier data only partly agree with the spectrographic results. In some cases the contents of tin given in the old analyses could not be detected in the spectra (e. g. fergusonite, Berg and columbite, Ånnerød), and in numerous cases the spectra show tin which had not earlier been detected. This discrepancy is certainly due to the fact that the detection and determination of small quantities of tin in minerals of types here dealt with is very difficult by ordinary chemical methods. Also, if X-ray spectral analysis is being used, tin belongs to the elements whose wavelengths are particularly unfavorable. Tin is present in pegmatites all over the region between Flekkefjord and Moss, both in the Pre-Cambrian granite pegmatites and in the syenitic and nepheline-syenitic pegmatites of the Oslo Region. It appears (not counting the nordenskiöldine) to enter preferably into the following minerals, arranged according to decreasing content of tin (down to about 0.1 %):[1]

---

[1] The presence of tin in galena, zinc blende and chalcopyrite has been observed earlier. For galena see K. Hoehne, Chemie d. Erde *9*, 219, 1935—36. For zinc blende a number of references could be given. For chalcopyrite no data seem to have been published, but Professor Goldschmidt has told me that some chalcopyrites examined in his institute in Göttingen were found to contain tin. He also calls attention to the obvious explanation of the presence of tin in chalcopyrite and zinc blende, namely the structural relationship of these two minerals and stannite. In accordance herewith inclusions of stannite obviously formed by exsolution are sometimes found in zinc blendes and similarly inclusions of zinc blende and chalcopyrite in stannite. Schneiderhöhn-Ramdohr, Lehrb. d. Erzmikroskopie, Bd. 2, pp. 107, 475. 1931.

Yttrotantalite	Moss district
Samarskite	—
Thortveitite	Iveland
Ilmenorutile	—
Yttrotitanite	—
Microlite	—
Samarskite	—
Chrysoberyl	—
Ilmenorutile	Arendal district
Euxenite	—
Columbite	Kragerø
Betafite	—
Blomstrandine	Hidra
Polycrase	—
Pyrochlore	Oslo Region

From these data the Østfold and Iveland pegmatites seem to be richer in tin than other Norwegian pegmatites. On the other hand the highest concentrations in different localities are not always found in corresponding minerals, and a given mineral species may show widely varying tin contents in different localities within the same district, so that it is perhaps not justified to stress this conclusion on the ground of the above material. Tin seems to be generally absent from the following minerals, even if some of them occur in company with tin-bearing minerals:

Molybdenite
zircon-malacon-alvite-thorite-orangite
thalenite-hellandite-(allanite)

---

[1] In connection with this list I quote some of the data given by I. and W. Noddack (l. c.). Samarskite, Moss: 0.005 %; Thortveitite, Iveland: 0.0002 %. Blomstrandine, Hidra: 0.004 %. These figures are all very much lower than my results. We have to allow for the possibility that the content of tin may vary widely in different samples even from the same locality, but it is in any case extremely improbable that a sample of thortveitite from Iveland should be practically without tin. It will be seen (p. 321) that I have examined thortveitites from 5 different localities in Iveland, and my result was in all cases 0.1 % or more. The one with a somewhat lower content is from Evje, but even here the concentration was found to be higher than 0.01 %.

gadolinite-beryl-phenacite
(xenotime)-(monazite)
fergusonite
quarz-felspars-biotite.

For those in brackets the observational data are rather scanty in view of the wide distribution of these minerals.

Reasonable crystallochemical explanations of the presence of tin in many pegmatite minerals can be offered. If we assume that the ionic radius of tin (Sn^{4+} : 0.74 Å) is sufficiently similar to those of titanium and scandium (Ti^{4+} : 0.64 Å, Sc^{3+} : 0.83 Å) for a partial replacement, remembering also that the charge of the tin ion is not lower than those of the others[1], this will account for the tin found in titanium minerals[2], many niobate-tantalates and in thortveitite. However, the matter is complicated and it is for instance difficult to see why yttrotantalite and samarskite, as it seems, contain much more tin than the euxenite minerals which are really rich in titanium. Here we obviously have to assume a replacement also of Nb^{5+} (0.69 Å) and Ta^{5+} ($\sim$0.7 Å) by Sn^{4+}; such a replacement is known from the isomorphous mixtures tapiolite-cassiterite. Among the things which are still more difficult to explain is the considerable content of tin found in chrysoberyl. It may be worth noting that the minerals with the highest Sn-contents include some of the very rarest species in our pegmatites.

The apparent absence of tin in the Norwegian iron ore deposits is remarkable.

Acknowledgement. I wish to thank Professor dr. V. M. Goldschmidt for placing at my disposal the facilities of the Raw Material Laboratory and the mineral collections of the Mineralogisk-geologisk museum, and not least for many suggestions of great value.

Oslo, Mineralogisk-geologisk museum, April 1939.

---

[1] The rule here applied has first been published by V. M. Goldschmidt and Cl. Peters, Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl. 1931, p. 271.

[2] A titanite from Arandis, SW-Africa has been found to contain at least 10% Sn. P. Ramdohr, N. Jahrb. f. Min. &c, BB. *70,* 15, 1936.

Ms. rec. May 9, 1939.

CORRELATION NOTES ON SCOTTISH-NORWEGIAN CALEDONIAN GEOLOGY

BY

OLAF HOLTEDAHL

With 4 textfigures

Abstract: The writer points to a number of mostly structural features that seem to favour a correlation of the Moinian of Scotland with the metamorphic ("Eocambrian") Sparagmitian of Scandinavia, and possibly also of the Torridonian with the unmetamorphic pre-tillite Sparagmitian. The Scottish Portaskaig-Schiehallion boulder bed is correlated with the tillites of the Upper Sparagmitian, and the higher Dalradian with the (lower) Cambro-Silurian of the Scandinavian Caledonian zone.

The joint work with Dr. E. B. Bailey in preparing a recently published contribution on the Caledonides of northwestern Europe (references, 2) has greatly stimulated the interest of the writer in Scottish-Scandinavian correlation problems. Recent investigations in a Norwegian district of very highly metamorphosed "sparagmite" made it evident to him that the rocks of the said district have much in common with the Scottish Moinian flagstones, and aroused a wish of personally seeing the Moinian as well as other rock complexes of the far north-west of Scotland.[1]

In June 1938 he had the opportunity of visiting, under the guidance of Dr. Bailey, parts of the Isle of Skye with its great variety of Caledonian structures, and further, in the company of Dr. J. E. Richey, Dr. W. Q. Kennedy and Mr. R. C. B. Jones of the British Survey, and of Prof. C. E. Tilley of Cambridge, the Moine district around Mallaig. To these colleagues, and especially to Dr. Bailey, the writer wishes to express his most sincere thanks for the highly interesting days spent in these districts of fascinating Scottish geology. Furthermore, he is particularly obliged to Dr. Richey for having read through the manuscript and proposed various editorial changes.

---

[1] On a previous occasion the writer visited the Ballachulish district (Brit. Assoc. excursion, led by Bailey, 1928).

A great many geologists have, in the course of time, commented upon points of likeness between Scotland and Scandinavia. I shall here mainly refer to the paper of G. Frödin of 1922 (5) which exclusively deals with such correlation problems. Judging from known Scandinavian conditions, Frödin could not subscribe to the view "that the Dalradian and Moinian regions, like their metamorphic transformation to crystalline schist, belong to a powerful pre-Torridonian folding zone" as this "would mean that the Scandinavian Mountain schists are pre-Cambrian" (p. 234). Frödin states his view on the Moine and Dalradian in the following lines: "Besides Caledonian intrusions and patches of Lewisian rocks, we will therefore have to expect in the north-west, in the Moinian, metamorphic derivatives, above all of the Torridonian and the Cambrian, possibly also of somewhat younger Paleozoic sediments. In the Dalradian in the south-east, on the other hand, we have to anticipate especially those of Ordovician and Gothlandian age, besides possibly Cambrian and Torridonian ones" (p. 233—234). Concerning the metamorphism of the Moinian and the Dalradian, he points to the likeness to that of the "Seve" and "Köli" groups respectively of Central Scandinavia. As regards the Torridonian, Frödin states that this series and the central Scandinavian sandstone of Dalecarlia[1] are in the main equivalent both from a geological and petrological point of view.

Th. Vogt who knew parts of the Scottish Highlands from personal studies (and has made a valuable contribution to the understanding of the stratigraphy of the Dalradian by pointing out the up- and -down direction in crossbedded sandstones) in a lecture to the Norwegian Geological Society in 1935 (23), indicated the general likeness of the metamorphic rocks of the Loch Leven district (with mica schist, limestone, quartzite) to those of Nordland of Norway which are believed to be of Cambro-Ordovician age. The present writer (2, p. 70) has found this correlation a very plausible one and further (p. 71) has pointed out the evident likeness between the highly metamorphic Sparagmite sandstones of parts of Norway and the quartz-felspar-mica flaggy Moine rock.

As to British geologists, opinions on the age both of the Dalradian and Moinian have differed and still differ widely. Recent discussions of the problems are given in (19) and (17). The writer

---

[1] The "Dala sandstone" of Jotnian age.

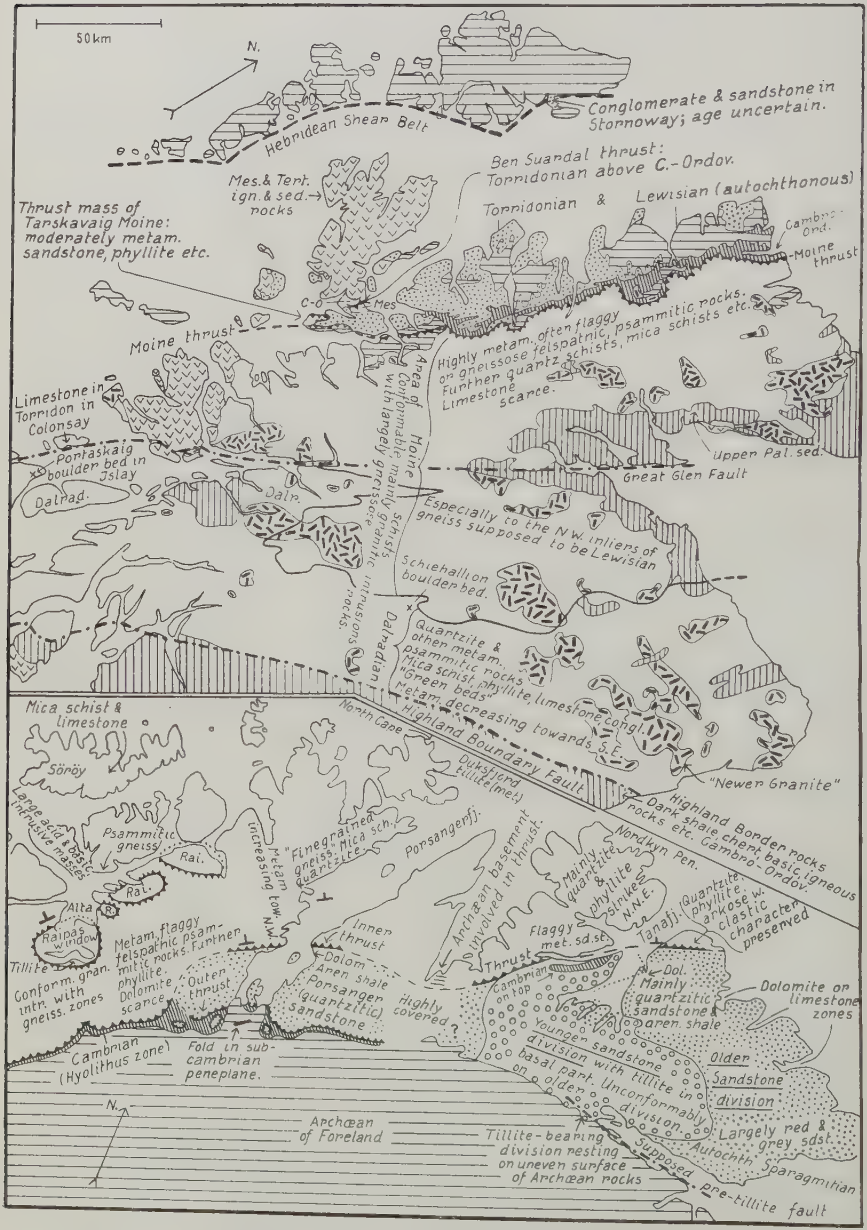

50 km
N.
Hebridean Shear Belt
Conglomerate & sandstone in Stornoway; age uncertain.
Ben Suardal thrust: Torridonian above C.-Ordov.
Torridonian & Lewisian (autochthonous)
Cambro-Ord.
Moine thrust
Mes. & Tert. ign. & sed. rocks
Thrust mass of Tarskavaig Moine: moderately metam. sandstone, phyllite etc.
C-O
Mes
Moine thrust
Highly metam., often flaggy or gneissose felspathic, psammitic rocks. Further quartz schists, mica schists etc. Limestone scarce.
Area of Moine Conformable, mainly granitic schists with largely gneissose intrusions rocks.
Limestone in Torridon in Colonsay
Portaskaig boulder bed in Islay
Dalrad.
Dalr.
Upper Pal. sed.
Great Glen Fault
Especially to the N.W. inliers of gneiss supposed to be Lewisian
Schiehallion boulder bed.
Dalradian
Quartzite & other metam. psammitic rocks. Mica schist, phyllite, limestone, congl. "Green beds"
Metam. decreasing towards S.E.
Highland Boundary Fault
"Newer Granite"
Highland Border rocks Dark shale, chert, basic, igneous rocks etc. Cambro-Ordov.
North Cape
Mica schist & limestone
Söröy
Large acid & basic intrusive masses
Psammitic gneiss
Rai.
Rai.
Alta
R.
Raipas window
Tillite
Conform. gran. intr. with gneiss. zones
Metam., flaggy felspathic psammitic rocks. Further phyllite. Dolomite scarce
Outer thrust
Metam increasing tow. N.W.
"Finegrained gneiss." Mica sch., quartzite.
Duksfjord tillite (met.)
Porsangerfj.
Inner thrust
Dolom
Aren shale
Porsanger (quartzitic) sandstone
Highly covered ?
Archæan basement involved in thrust.
Mainly quartzite & phyllite Strike N.N.E.
Nordkyn Pen.
Flaggy met. sd. st.
Tanafj.
Quartzite, phyllite, arkose w. clastic character preserved
Thrust
Cambrian on top
Dol.
Mainly quartzitic sandstone & aren. shale
Dolomite or limestone zones
Younger sandstone division with tillite in basal part. Unconformably on older division.
Older Sandstone division
Largely red & grey sdst.
Autochth. Sparagmitian
Cambrian (Hyolithus zone)
Fold in subcambrian peneplane.
N.
Archæan of Foreland
Tillite-bearing division resting on uneven surface of Archæan rocks
Supposed pre-tillite fault

Fig. 1. Maps showing symmetry of Caledonian features of Scotland and Finnmark (drawn to the same scale).

would like to draw attention especially to the view held by Peach, and illustrated in a diagram of the Caledonian zone of Scotland (16, fig. 27), that the Moinian represents metamorphosed Torridonian, and the Dalradian metamorphosed Cambrian (=Cambro-Ordovician), because the general idea of the diagram in major points harmonizes well with the conception of the Caledonian structures of parts of Scandinavia as it was first put forward by Törnebohm (22). Bailey, in the joint work mentioned above (2, p. 30) has suggested that the Dalradian and the Sparagmite series of Norway are in part stratigraphical equivalents.

In fig. 1 the writer has placed the greater part of Scotland and of Finnmark (in the extreme north of Norway) symmetrically one above the other and has indicated a number of main geological features. The correspondance shown seems, to the writer, surprisingly great. This is largely due to the fact that when thinking of N. W. Highland structures, the writer, like probably most geologists, has principally in mind the sections of the more northern part of the ground dealt with in the famous N. W. Highland Memoir (15), with its narrow zone of deformation, west of the Moine thrust. In fig. 2 two particular sections are chosen, which accentuate the fact that we have locally both in Scotland and in Finnmark a peripheral belt of thrust unmetamorphic psammitic sediments in front of the thrust metamorphic complex,

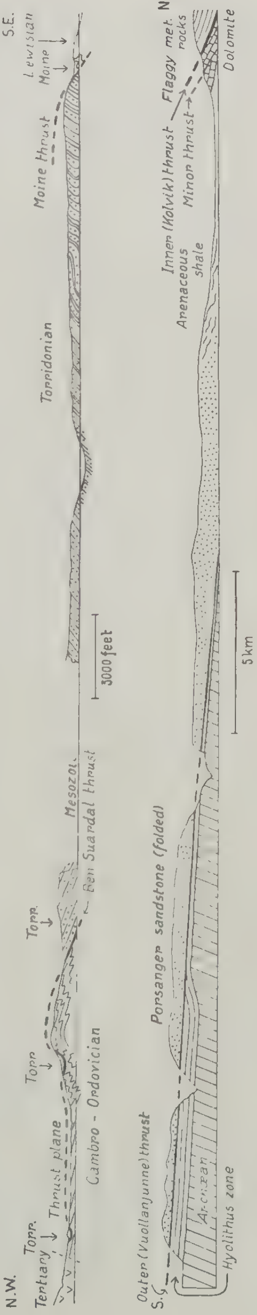


Fig. 2. Above section from the south-eastern part of Skye (simplified from fig. 61 of the N. W. Highland Memoir), below section from the Porsanger district of Finnmark.

in which we find psammitic rocks largely in the form of flaggy, commonly more or less gneissose schists.

The age of the unmetamorphic thrust rocks in Finnmark seems to be clear: the Porsanger sandstone[1] with arenaceous shales and dolomite on top, corresponds to the (relatively autochthonous) "older sandstone division" of the Tanafjord to the east, which with a slight, yet distinct angular unconformity is overlain by the younger, tillite bearing division. The latter passes upwards into fossiliferous (middle) Cambrian sandstone.

As to the age of the metamorphic psammitic and phyllitic rocks N.W. of the inner thrust, there can be no doubt that at any rate the greater part of the complex is of the same general age as the Sparagmitian rocks to the south and east. As a matter of fact the inner thrust seems to die out, or a any rate becomes less obvious, northeastwards in the peninsula east of the Tanafjord. The sediments are here rather moderately metamorphosed and a marked thrust plane, like that seen further to the south-west, was not observed on the north coast. The folded sediments of the Nordkyn Peninsula are mainly quartzites and phyllites which may very naturally be regarded as metamorphic equivalents of the lower sandstone division as developed in the Tanafjord district (cp. 6, p. 159). The occurrence of a conglomerate of tillite-type (with fragments of carbonate rocks and quartzite) in a metamorphic, tectonically highly disturbed rock complex at Duksfjord, east of the North Cape, is another point of interest, helping us to determine the age of the metamorphic sedimentary rocks of the north-western part of Finnmark.

The metamorphic thrust complex, north of the inner thrust, changes its petrological character as we pass westwards, a rather monotonous series of felspathic siliceous flagstone and not quartzites making up the greater part of the complex in the Alta district. Whether we are here just dealing with different facies or with beds of somewhat different age is not yet known.

---

[1] During the early reconnaissance work of the writer in Finnmark 1914—17, the existence of a thrust plane below the Porsanger sandstone was not noticed, and the said sandstone (and consequently also the more eastern sandstone formations) therefore were regarded as younger than the Hyolithus zone (9, 11, fig. 4). Later investigations by the writer in the Sparagmite district of Southern Norway made it, however, evident that the Finnmark Series and the Sparagmite Series had so many points in common that a different age would seem to be improbable. In 1929 the district south of the Porsangerfjord was studied more closely, and the thrust found (12).

As to the far north-west of Finnmark, the occurrence of mica schist and limestone (in Sørøy) may indicate that we are here in the "Nordland" series of presumably Cambro-Ordovician age.

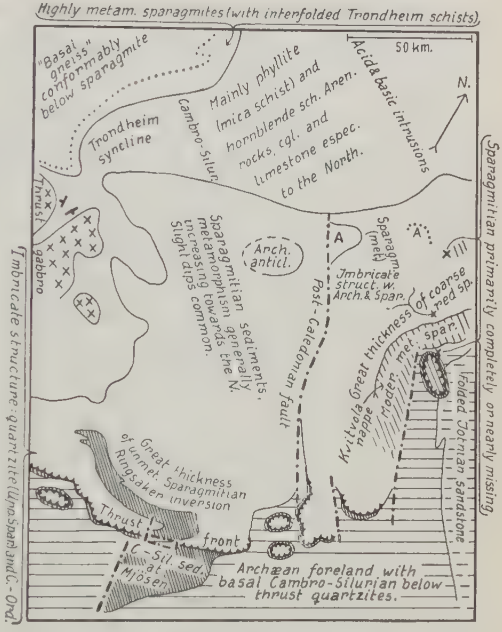

Highly metam. sparagmites (with interfolded Trondheim schists)
"Basal gneiss" conformably below sparagmite
Trondheim syncline
Cambro-Silur.
Mainly phyllite (mica schist) and hornblende sch. Aren. rocks, cgl. and limestone espec. to the North.
Acid & basic intrusions
50 km.
N.
Thrust
gabbro
Imbricate structure: quartzite (Upp. Spar.) and C.-Ord.
Sparagmitian sediments. metamorphism generally increasing towards the N. Slight dips common.
Arch. anticl.
A
Sparagm. (met.)
A
Imbricate struct. w. Arch. & Spar.
Post-Caledonian fault
Great thickness of coarse red sp.
met. spar.
Moder.
Kvitvola nappe
Folded Jotnian sandstone
Sparagmitian primarily completely or nearly missing
Great thickness of unmet. Sparagmitian
Ringsaker inversion
Thrust
front
C.-Sil. sed. at Mjösen
Archæan foreland with basal Cambro-Silurian below thrust quartzites.

Fig. 3. Eastern part of central Southern Norway.

In Southern Norway the relation between (relatively) autochthonous and thrust parts of the Sparagmite formation is more complicated, and only for certain areas do we know the conditions fairly well. In the eastern part of the area of the map (fig. 3) we notice a widely distributed thrust mass of moderately metamorphosed sparagmite (with thin dolomitic layers) lying (with gentle dips) above unmetamorphic red sparagmite of great thickness, locally with also low Cambro-Silurian beds preserved below the thrust plane. This "Kvitvola" thrust plane seems to pass above the imbricate structures (with thrust Archæan and Sparagmitian) which is typical of parts of the Femund district (cp. recent maps and papers by G. Holmsen, 7, 8), conditions strongly reminiscent of certain parts of the N.W. Highlands of Scotland.

The metamorphic Sparagmitian rocks towards the north-west pass below the darker, more pelitic schists of the Trondheim syncline, rocks of varying metamorphism, from chloritic and phyllitic to gneissose. Primarily the sedimentary rocks were mainly shales, often arenaceous or calcareous. Psammitic, conglomeratic and massive limestone beds are of importance especially in the northern part of the area. Further, volcanic Lower Ordovician rocks are typical, with pillow structures preserved locally. As to the age of the sediments of the Trondheim syncline, finds of fossils from various horizons of the Ordovician and, in a far north-eastern locality, also from the Lower Silurian, give us a general idea of it.

On the north-western side of the south-western part of the Trondheim syncline very highly metamorphic, no doubt Sparagmitian, psammitic rocks crop out, recumbently interfolded with hornblende and mica schists of the Trondheim series (13 and observations made 1938). They lie above a "basal gneiss series" which also contains fairly massive fine-grained granites etc.

We may now summarize a few main points. In both Scotland and Scandinavia we meet in the peripheral areas of Caledonian deformation a thick series of unmetamorphic sediments, mainly sandstones older than the fossiliferous Lower Cambrian. More centrally psammitic, more or less metamorphic rocks occur, and still further away from the Caledonian front metamorphic sediments with more of pelitic sediment. The latter in S. Norway are certainly younger than the metamorphic psammitic series, and also in Scotland such an age relation is fairly commonly assumed. That the Dalradian of Scotland, at any rate to a large extent, corresponds to metamorphic Cambro-Silurian sediments of Scandinavia has previously been held by several Scandinavian geologists. Judging from the structural similarities indicated above, the present writer thinks that there are strong reasons for going further in the comparison and for correlating the Moinian and the Torridonian respectively with the metamorphic and unmetamorphic Sparagmitian, or parts of it.

As stated by Bailey (2, p. 33) the Torridonian is very generally correlated with the Jotnian of Fennoscandia, though the petrological likeness of the arkoses of the Torridonian and the Sparagmite formation has also been emphasized by writers (cp. e. g. 16, p. 72). Recently v. Eckermann (4), on the basis of personal studies in both districts, has emphasized the close lithological agreement between the Torridonian sediments and the late Jotnian sediments of Dalecarlia; he has, however, also pointed to some marked differences (Jotnian igneous rocks missing in the Torridonian etc.). The present writer (2, p. 73) has remarked on the corresponding position of the Torridonian and Jotnian sediments in the foreland in front of the big thrusts. A main structural feature of likeness is the existence of a distinct angular unconformably between these formations and the Cambrian (or in Fennoscandia the sub-Cambrian peneplane). As to the Sparagmitian of Southern Norway, no angular unconformity is known in or above the series, and the sediments in question are evidently developed only in the district of strong deformation and do not occur outside it.

The more intimate study of Scottish literature and especially the personal visit to Skye, where not only the Torridonian sediments are very highly influenced by Caledonian crust movements, but where the thrust mass of only moderately metamorphic "Tarskavaig Moine" exists between typical Torridon and typical Moine, accentuated for the writer the likeness to conditions in the Sparagmite district of Southern Norway, where sparagmites occur in all stages of metamorphism. The detailed comparison between Scotland and Finnmark has, furthermore, shown so much correspondance that the age correlation Torridonian—Sparagmitian may seem to be possible. A typical feature of the Finnmark Sparagmitian is the existence of a distinct angular unconformity between the younger, tillite-bearing sandstone division and the older sandstone series (cp. e. g. 9, the lower section, pl. XX, to the right). Also in Southern Norway the time directly preceding the deposition of the tillite must have been one of unrest (with vertical movements) as emphasized by the writer already in 1920. This pre-tillite period of unrest corresponds to Koch's "Scandic phase" in Greenland (14, p. 122). During this phase denudation of older Sparagmitian (the "Greenlandian") sediments took place.

A possible conclusion, then, seems to be that the Torridonian corresponds to the pre-tillite Sparagmitian (older division of Finnmark) and that the tillite sediments and beds lying immediately above them in Norway, are missing in the Scottish area, west of the Moine thrust. We must here emphasize that in the Tana district of Finnmark we do not yet know where to place the base of the Cambrian (corresponding to the Scottish basal Cambrian quartzite).

Such an inter-Sparagmitian "Scandic" period of crust movements, probably with block-faulting, and with tilting in N. W. Scottish and N. Norwegian districts, would then be responsible for the local pre-Cambrian denudation of the Torridonian in the N. W. Scottish Foreland.

In this connection we may consider the conditions in the eastern part of the map area of fig. 3. In the far S. E. the pre-tillite Sparagmitian is missing below the Kvitvola nappe (10), farther north-west it is developed in great thickness, while in a zone still farther to the north-west it is again missing. The Cambro-Silurian, with underlying tillite, must in these districts have been deposited on a floor of widely varied character.

The writer has held, and recently has been supported by Føyn in his view, that after the deposition of the older sandstone division a fault-line was developed along the present south coast of the Varangerfjord (to the extreme S.E. in fig. 1), with denudation of the sediments to the south in pre-tillite and tillite time. Sandstone and shale, with the upper of the two tillite zones at some height from the base, lie west of the upper end of the fjord directly on the Archæan basement. The writer is also inclined to believe that a somewhat similar pre-tillite fault was developed in the eastern part of the map (fig. 3), between the area of the thick red sparagmites and the eastern district, where no representatives of the older sediments exist. In one locality here tillite seems to rest directly on the Archæan. I point to these conditions because they might possibly be considered in the discussion of the remarkable features along the inner side of the Outer Hebrides of Scotland, with a marked shear zone and a conglomerate (generally regarded as Torridonian) with local boulders, including sheared gneiss, occurring at Stornoway.[1]

The Tarskavaig Moine would, naturally be compared with the moderately metamorphic Sparagmitian masses, like for example those of the Kvitvola thrust mass in the eastern part of fig. 3.

Discussing the age of the Moinian J. Phemister (17, p. 34) summarizes a number of objections which have been raised against a parallelization between Torridonian and Moinian, viz. (I) the lack of proof that the metamorphism is of Caledonian age, (II) the infrequency of conglomerates and the absence of breccias in the Moine Series; (III) the contrast between the N. to S. variation in lithology and thickness of the Torridonian and the lithological constancy of the Moine assemblage in this direction; and (IV) the absence of intrusive sheets in the Torridonian. Objections similar to the three latter ones might have been raised also against the correlation of the unmetamorphic and metamorphic Sparagmitian of Norway. The unmetamorphic Sparagmitian in the more southern part of the map area of fig. 3 is to a large extent of a very coarse arkose character, with several horizons of coarse conglomerate (besides conglomerate of basal type). Considering now the northern parts of the map area, we generally find a monotonous sequence of more or less metamorphic, non-conglomeratic sparagmites interbedded with pelitic schists, covering very large districts. As to igneous plutonic intrusions, they occur in the thrust metamorphic complex of the north-western parts of Finnmark, while they are totally missing in the unmetamorphic sedimentary series to the south-east.

---

[1] If this conglomerate should turn out to be a relatively young deposit (it has been regarded as Triassic by Stevens) its tectonical position would be much like that of the Tertiary conglomerate of Prince Charles Foreland, Spitsbergen (cp. the writer's paper "Some Points of Structural Resemblance between Spitsbergen and Great Britain etc.", Det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo, Avhandlinger, 1925, No. 4, Fig. 2).

We shall not here go much into the question of the lithological resemblance of the Torridonian and the pre-tillite Sparagmitian of Scandinavia. The fact that in the latter region carbonate rocks (in the south mainly limestone, in Finnmark mainly dolomite) are characteristic constituents of the sequence, cannot be said to be an objection of importance since, firstly, limestone occurs also in the Torridonian (especially in Colonsay), secondly, the carbonate rocks become very scarce towards the N. W. in the Sparagmitian of Scandinavia. As to the character of the bedding, current bedding is very characteristic of parts of the Torridonian and is locally developed and preserved also in the Moinian (as for example at Mallaig). The typical unmetamorphic sparagmites of Southern Norway are commonly very massive, with no distinct bedding in the banks, or else have parallel bedding. In eastern Finnmark, however, we have good examples of current bedding in the older sandstone division. Reusch has published an illustration of red "false-bedded" sandstone at the Varanger fjord (20, fig. p. 39) and the writer has reported on current bedded sandstone in Løkvikfjell on the north coast of the Varanger Peninsula not far from the Tanafjord. It might be added that the grey and red sandstones of the Varanger Peninsula commonly are very felspathic.

The Jotnian sandstone (Dala sandstone), occurring in the eastern part of the map (fig. 3), must without any doubt be older than the sparagmites and has been separated from the latter by a period of marked crust movements. The Jotnian sandstones in Fennoscandia generally lie fairly horizontal, but to the extreme west, near the western border of the Trysil—Dala area of the map, marked folding occurs, with locally even vertical dip. This deformation is older than the sub-Cambrian peneplane of denudation (which has continued westwards in the stratigraphical plane between the Cambrian and the Sparagmitian) as the said peneplane truncates the folded Jotnian. The coarse arkoses of the (relatively) autochthonous Sparagmitian west of the area of Jotnian sandstone are also very different from the rocks of the latter series, and finally igneous intrusions are common in the Jotnian sediments, but are totally missing in the adjacent Sparagmitian.

Turning now once more to the Dalradian, the Schiehallion boulder bed zone, in Islay represented by the Portaskaig conglomerate, is a horizon of particular interest. The Portaskaig conglomerate overlies, according to Bailey (1), the Blair Atholl Series, with the Islay limestone as a characteristic member. This limestone is oolitic in certain layers, and in the upper part dolomitic. There also occur dolomitic bands with conglomeratic character, possibly to be regarded as intraformational conglomerates. In Islay the dolomitic topmost bed of the Islay limestone is overlain by a few feet of dark shale or slate and these by the Portaskaig conglomerate, which in its lower portion shows some bedding and is split up by bands of quartzite and dolomite, and in its upper part is unbedded, and glacial-like. The most conspicuous fragments in the deposit are nordmarkite of unknown source, and pieces of dolomite. Locally dolomite boulders are dominant. Dolomite conglomerates, or breccias, of intraformational type, are described also from the Portaskaig conglomerate series. Again one recognizes main points in common with Finnmark (and other northern tillite-localities): on the east side of the Tanafjord we find as the uppermost part of the "lower sandstone division" beds of shale and dolomite, with bands of grey dolomite conglomerate or breccia of intraformational type. As to the tillites of the Tana—Varanger district, dolomites is commonly the dominant rock in the fragments, especially in the lower tillite-zone. Dolomite layers and intraformational dolomite breccias are known also from the tillite-bearing series (9, fig. 24, p. 169). Oolitic carbonate rocks occur in eastern Finnmark both in the lower sandstone division (9, pl. XVI) and in boulders in the tillite rocks (12, fig. 16).

Above the Portaskaig-Schiehallion boulder bed follow in the "Iltay Nappe" (2, p. 37), the thick Perthshire quartzite series, and the Ben Eagach black schists, Ben Lawers calc-schists, Ben Lui schists, Loch Tay limestone, Pitlochry schists, Green beeds, Ben Ledi grit and schists, Aberfoyle slate and Leny grit. In a comparison with Scandinavian stratigraphy a correlation of the Ben Eagach black schists with the Middle Cambrian-basal Ordovician dark pelitic schists, the Loch Tay limestone with the Snaasen limestone (cp. Vogt's table, p. 232), the Green beds with the volcanic Lower Ordovician horizon, might be tentatively proposed. Peach's view of the Islay (Perthshire) quartzite as Cambrian would fit well into such a stratigraphical system.

The stratigraphical relation between the series of the "Iltay Nappe" and that of the" Ballappel Foundation" with its quartzites, slates, limestones, is as yet not exactly known. What seems to be a fact is that the sediments of the latter, with the Eilde Quartzite as its oldest member, come on top of the Moine series.

To sum up, the following correlations would seem to be probable.

Scotland.	*Norway.*
Main part of the "Iltay Nappe" succession.	Cambro-Silurian of the Trondheim and Nordland districts.
Schiehallion boulder bed.	Tillite of upper Sparagmitian.
Torridonian (?) and Moinian.	Unmetamorphic and metamorphic pre-tillite Sparagmitian.

The existence of rocks so highly metamorphic as the Moine schists above unmetamorphic (Torridonian and Cambro-Ordovician) sediments indicate transport of the schists for a very long distance in Scotland (if we assume the metamorphism to be of Caledonian age). In Southern Norway sparagmitic rocks with a similar high degree of metamorphism are not generally met with till we reach north of the Trondheim syncline. We may refer to Read's description of Moine Granulites from the Strath Oykell and Lower Loch Shin districts (18, p. 132) and to Barth's of metamorphic sparagmite from the Opdal district of Norway (3, p. 56; cp. especially Read's fig. 3, C. and Barth's fig. 1, 3).

With the assumption of a very long travel of the thrust masses the fact that there does not occur in the metamorphic areas of Scotland any stratigraphical unit of the character of the Durness limestone (dolomite) series, finds a natural explanation. The said extreme development of carbonate rock belongs to a distinctly western facies, which is also represented in East Greenland and Bear Island,

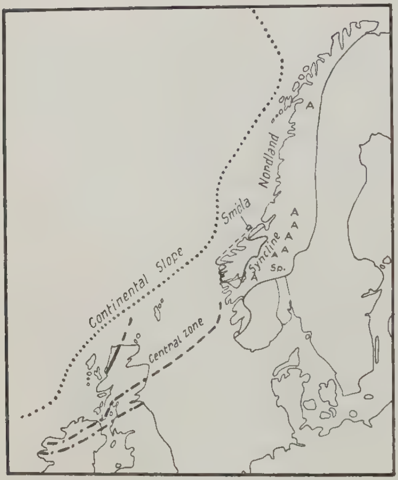


Fig. 4. The British-Scandinavian Caledonian zone. A A in Scandinavia: anticlines or domes with Archæan exposed. Sp: Sparagmite district of fig. 3.

while in more easterly facies, as seen in the north-western parts of Norway, the lower Ordovician seems to become gradually a horizon of largely pelitic character.

To a facies much like that of the central Trondheim district the "Highland Border rocks" of Scotland would probably correspond. As to the zone S. E. of the Dalradian, the conditions of Western Ireland (cp. Bailey, 2, p. 46) seem to be of particular interest. There is here a very great thickness of Arenig rocks (black shales, cherts, grits, conglomerates, pillow lavas etc.) and a still greater development of younger Ordovician, Ashgillian, sediments, mainly sandstone (arkose). Such a succession reminds one considerably of the sequence Bymark—Hovin Group near Trondheim. Immediately to the south-east, in Ireland, Silurian beds directly overlie the Connemara schists which are probably pre-Cambrian. In the Olden district of N.W. Jämtland (Sweden) a pre-Cambrian granite seems to have been exposed in Upper Ordovician times (21). This Olden granite occurs in an area which lies in line with a series of anticlines or domes where Archæan rocks crop out in windows, flanking the central South-Scandinavian syncline to the south-east (fig. 4) and reminiscent of the conditions along the Midland Valley zone of Scotland and Ireland, which is also bordered towards the south-east by areas of relatively old rocks.

References.

1. Bailey, E. B. The Islay Anticline. Quart. Journ., LXXII, pt. 2, 1917, p. 132.
2. — and Holtedahl, O. Northwestern Europe. Caledonides. Regionale Geologie der Erde, Leipzig 1938.
3. Barth, T. F. W. Progressive Metamorphism of Sparagmite Rocks of Southern Norway. Norsk geol. tidsskrift, 18, 1938, p. 54.
4. Eckermann, H. v. The Jotnian Formation and the sub-Jotnian Unconformity. Geol. Föreningen i Stockholms Förhandlingar, 59, 1937, p. 19.

5. Frödin, G. On the Analogies between the Scottish and Scandinavian Portions of the Caledonian Mountain Range. Geol. Inst. Upsala, XVIII, 1922.
6. Føyn, S. The eo-Cambrian Series of the Tana District, Northern Norway. Norsk geol. tidsskrift, 17, 1937, p. 65.
7. Holmsen, G. Nordre Femund. Norges Geol. Undersøkelse, Nr. 144, 1935.
8. — Søndre Femund. Norges Geol. Undersøkelse, Nr. 148, 1937.
9. Holtedahl, O. Bidrag til Finmarkens geologi. Norges Geol. Undersøkelse. Nr. 84, 1918.
10. — Engerdalen. N. G. U., Nr. 89, 1921.
11. — The Scandinavian Mountain Problem. Quart. Journ., LXXVI, 1920, p. 387.
12. — Additional Observations on the Rock Formations of Finnmark, Northern Norway. Norsk geol. tidsskrift, 11, 1932, p. 241.
13. — Geological Observations in the Opdal—Sunndal—Trollheimen District. Norsk Geol. Tidsskrift, 18, 1938, p. 29
14. Koch, L. Geologie von Grönland. Geologie der Erde, Berlin 1935.
15. Peach, B. N., and Horne, J. and others. The Geological Structure of the North-West Highlands of Scotland. Geol. Surv. Great Britain, 1907.
16. — and Horne, J., Chapters on the Geology of Scotland. Oxford University Press, 1930.
17. Phemister, J. The Northern Highlands. British Regional Geology, Geol. Surv. and Museum, 1936.
18. Read, H. H., and others. The Geology of Strath Oykell and Lower Loch Shin. Geol. Surv. Scotland, 1926.
19. Read, H. H. The Grampian Highlands. British Regional Geology, Geol. Surv. and Museum, 1935.
20. Reusch, H. Det nordlige Norges geologi. Norges Geol. Undersøgelse, Nr. 4, 1892.
21. Thorslund, P., och Asklund, B. Stratigrafiska och tektoniska studier inom Föllingeområdet i Jämtland. Sveriges Geol. Undersökning, ser. C, Nr. 388, 1935.
22. Törnebohm, A E. Grunddragen af det centrala Skandinaviens bergbyggnad. Kgl. Sv. Vetenskaps-Akademiens Handlingar, 28, Nr. 5, 1896.
23. Vogt, Th. Om fjellkjedesedimentene i Nordland, den nordlige del av Trondhjemsfeltet og Skottland. Norsk geol. tidsskrift, 8, 1925, p. 229.

Printed October 25th, 1939.

NOTISER

VANADIUM IN DEM APATITVORKOMMEN VON ØDEGÅRDEN IN BAMBLE

Während einer spektrographischen Durchmusterung verschiedener Glimmermineralien fielen in einem Spektrum des bekannten braunen Phlogopits von Ødegården die Vanadiumlinien, insbesondere die eng benachbarten 3185.40, 3183.98 und 3183.41 Å, durch außerordentlich hohe Intensitäten auf. Dasselbe Verhalten zeigten 3 weitere Aufnahmen von verschiedenen Proben dieses Phlogopits. Eine dieser Proben war einer großen gemahlenen Menge (über eine Tonne) entnommen. Ein ungewöhnlich hoher Vanadiumgehalt ist somit offenbar eine konstante Eigenschaft des Phlogopits von Ødegården. Ich vermutete, daß der Gehalt sogar für eine technische Gewinnung des Vanadiums ausreichen würde. Eine chemische Bestimmung des Gehalts, auf meine Veranlassung von Herrn Olaf Røer in Oslo Materialprøveanstalt ausgeführt, ergab jedoch »nur« 0.308 % V. Das ist trotzdem ein sehr bemerkenswerter Gehalt, insbesondere wenn man bedenkt, daß der Phlogopit bei Ødegården in sehr großen Mengen vorkommt. Auch andere verbreitete Mineralien des selben Vorkommens zeigen ungewöhnliche Vanadiumgehalte, wie aus der folgenden Zusammenstellung von Intensitäten der obigen Vanadiumlinien ersichtlich.

Phlogopit (4 Spektren)	sehr stark
Enstatit, frisch	sehr stark
Enstatit, in Speckstein umgewandelt	stark
Rutil, in Apatit eingewachsen	stark
Apatit, gelbweiß, anscheinend rein	schwach[1]
Hornblendegestein an der unmittelbaren Grenze eines Apatitganges[2]	sehr stark
Skapolith-Hornblende-Gestein, typisch	stark
Hornblende aus demselben	stark
Skapolith aus demselben	schwach[1]
Hyperit	schwach
Magnetit aus dem Hyperit	mittelstark

---

[1] Es ist möglich, daß die V-linien in den Apatit- und Skapolith-Spektren von kleinen Beimischungen von Glimmer, Hornblende oder dergl. herrühren.

[2] Dieses ganz dunkle Gestein kann als ein sehr Hornblende-reiches Skapolith-Hornblende-Gestein bezeichnet werden.

Es darf angenommen werden, daß die Bezeichnung »schwach« Gehalte von der Größenordnung 0.01 % V entspricht. Ein solcher Gehalt (0.015 % V) wird jetzt als Durchschnitt für die Eruptivgesteine angenommen[1]. Der Hyperit, der als Muttergestein des Apatitvorkommens angesehen wird, ist also keineswegs besonders reich an Vanadium. In dem Apatitvorkommen selbst aber, sowie in der von demselben beeinflußten Grenzzone, ist Vanadium sehr stark angereichert, und zwar ist offenbar das vorhandene Vanadium überwiegend in Glimmer, Enstatit und Hornblende enthalten. Eine genaue Erklärung des Eintretens von Vanadium in diese Mineralien kann zur Zeit nicht gegeben werden. Doch sind in diesem Zusammenhang zu erwähnen der Vanadiumglimmer Roscoelith, der zwar zu den Muskowiten zu rechnen ist, der sogenannte Vanadiumbronzit[2] und Vanadium-reiche Glieder der Diopsidreihe (Lawrowit)[2] und der Aegirinreihe[2]. Der Grund für die Vanadiumanreicherung bei Ødegården ist auch nicht näher anzugeben. Jedenfalls ist eine solche Anreicherung keine gemeinsame Eigenschaft der südnorwegischen Apatitvorkommen, wie aus den folgenden Daten ersichtlich. Ich untersuchte spektrograpisch:

Lykkens grube, Kragerø . .	Hornblende, Apatit
Regårdsheia bei Risør	Biotit, Skapolith-Hornblende-Gestein
Hovatn, Froland	Hornblende, Titanit.

Vanadiumlinien waren in allen Spektren sichtbar, zeigten jedoch nur schwache bis mittelstarke Intensitäten. Die Anreicherung bei Ødegården scheint sogar ganz lokal und streng an die typischen im Skapolith-Hornblende-Gestein auftretenden Gänge geknüpft zu sein, denn schon die um einen knappen Kilometer entfernten Kjerulfinvorkommen bei Havredal zeigen nur ganz kleine Vanadiumgehalte. Ich untersuchte von diesen Vorkommen Kjerulfin, Rutil, Pseudobrookit und einen Phlogopit-ähnlichen Glimmer, der in kleiner Menge im Kjerulfin vorkommt. Keines dieser Mineralien zeigte mehr als schwache Vanadiumlinien.

Material und Hilfsmittel des Rohstofflaboratoriums und des Mineralogisch-geologischen Museums standen mir durch Wohlwollen des Herrn Professor Dr. V. M. Goldschmidt für diese Untersuchung zur freien Verfügung.

Oslo, Mineralogisk-geologisk museum
im November 1939.

Ivar Oftedal.

BERYLLIUM IN RADIOACTIVE MINERALS

It has been found by optical spectral analysis carried out in the Raw Material Laboratory on samples belonging to the Mineralogisk-geologisk Museum that some Norwegian radioactive minerals contain small quantities of beryllium. In particular beryllium was found in all the examined samples of thorite and orangite (Langesundsfjord, — Tangen near

---

[1] V. M. Goldschmidt, Geochem. Verteilungsges. IX, Vid.-Akad. Skr. Oslo, I, 1937, No. 4, S. 53.

[2] S. z. B. Doelter's Handb. d. Min.-Ch. II, 1, 563 und II, 2, 337.

Kragerø, — Fogne in Gjerrestad, — Arendal, — Svinør near Lindesnes), in brøggerite (Råde) and cleveite (Ausel near Tvedestrand), and also in some uranium-rich niobate-tantalates. The content is variable, but it is scarcely as high as 0.01 % Be in any of the minerals mentioned.

Professor Dr. O. Hahn, of Berlin, who heard about these results through Professor Dr. V. M. Goldschmidt, has drawn our attention to the fact that these minerals may be expected to make a natural source of neutrons according to the nuclear reaction

$$^{9}_{4}\mathrm{Be} + ^{4}_{2}\mathrm{He} = ^{12}_{6}\mathrm{C} + ^{1}_{0}\mathrm{n}$$

which has been found to take place by artificial bombardment of Be by α-particles. Also production of neutrons by the action of γ-rays on Be has to be considered. Because of the small percentages of Be in the minerals the output of neutrons must, however, be extremely small. A gadolinite containing appreciable amounts of thorium or uranium would be much more efficient, but unfortunately only very low contents of these elements have so far been found in gadolinites.

Oslo, Mineralogisk-geologisk museum,
May, 1939.

Ivar Oftedal.

MILESTEINER AV SILURKALK

På en ekskursjon høsten 1935 ledet av professor Holtedahl ble det funnet en blokk av mørk noe skifrig kalk ved veien ved gården Dalen på Leirskogen, Sør-Aurdal i Valdres. Bergarten var helt upresset og inneholdt vakre fossiler, bl. a. *Spirifer elevatus* og *Rhynchonella*. Det måtte således være en kalkblokk fra silur, etasje 9, i Oslofeltet. For det første er det ikke funnet siluriske lag i denne trakten, hvor lagrekken bare går opp til omkring orthocerkalken, og selv om det alikevel skulle finnes silurlag, kunne de ikke være så upressete. Spørsmålet var hvordan denne blokken kunne være kommet opp til Leirskogen.

Under kartleggingsarbeid i Sør-Aurdal siste sommer traff forfatteren gårdbruker Trond Islandsmoen og lærer Torbjørn Garthus, som hver for seg kunne fortelle at kalken fra Leirskogen stammet fra en gammel milestein. Lærer Garthus hadde også sett milesteinen i god behold med Kristian 5's navn på. Den må da seinere være blitt veltet og slått sund.

En annen milestein av samme slags kalk finnes ennå i urørt stand ved Leira i Valdres ved veien til landbruksskolen ovenfor jernbanestasjonen. Den er som det sees av fotografiet en vakkert uthuggen stein, målene er 195 × 64 × 15 cm. Øverst har den en krone, kongemonogrammet under er forvitret, men en C er ennå synlig, nederst står EN MIL. Bergarten er en tettknollet mørk kalk med *Rhynchonella*.

Det må antakelig være av de samme milesteiner som Yngvar Nielsen nevner i en avhandling om det norske veivesen før 1814: „hvorimod der allerede under Kristian V foregik en fuldstændig opmåling af vejene i det søndenfjeldske efter mile på 17,600 danske alen, hvorved der opsattes de store og smukke milestolper af huggen sten med kongens og statholderens navnesiffer, hvoraf ennu hist og her enkelte kunne sees, f. ex. en i Jukamklevene og, såvidt erindres, en længere oppe i Valdres på vejen mellem Skogstad og Nystuen."[1]

Milestein ved Leira

At det også har vært milesteiner av samme silurkalk i Gudbrandsdalen viser et funn som Th. Kjerulf gjorde i Fåvang: „Beim Häuslerplatze Trøstakerbråten fand ich lose Kalksteine, dem Fodvangerkalke nicht unähnlich, voll von Versteinerungen: Orthis lunata, Rhynchonella nucula, Trocholites u. m.— Ich bin auch später unterrichtet worden, daß jene Steine von einem alten Meilenzeiger von der Zeit Christian VII herrühren; wo dieser Meilenzeiger gehauen wurde, wußte man indessen nicht anzugeben."[2] Kjerulf nevner videre at både han selv og i sin tid Esmark hadde hørt tale om fossilførende kalk også lengre nord i Gudbrandsdalen.

På den tid han skrev dette mente Kjerulf at sparagmittlagene i Gudbrandsdalen tilhørte silur og devon, og han har derfor trodd at milesteinen var hugget på stedet. Fossilene viser at kalken er fra etasje 9 og det er ingen grunn til å tro annet enn at også denne milesteinen stammet fra Oslofeltet.

Ved stranda på vestsida av Lågen ved gården Nordlien i Fåberg, omkring 5 km ovenfor Vingnes, er det også funnet fossilførende silurisk kalk. Dette funnet er omtalt av P. A. Øyen[3], fossilene (bl. a. *Spirifer*) ble bestemt av professor Kiær som hørende til i etasje 9, det billede som Øyen har tatt med i sin beskrivelse viser meget vakre fossiler uten merker etter pressing. Det er derfor ingen grunn til å tro at kalken er av en flyttblokk, og det er også meget lite rimelig at den kunne være kommet fra Oslofeltet ved isdrift. (Stedet ligger under den marine grense.) Det er liten tvil om at vi her også har rester etter en milestein.

Det samme gjelder et funn av fossilførende silurkalk med *Rhynchonella* som for noen år siden ble sendt inn til professor W. Werenskiold fra et sted ovenfor Sjoa i Gudbrandsdalen. Den er ikke funnet i nærheten av noen vei, men oppe i lia ved en gammel kalkovn. Antakelig har en milestein her vært tatt til kalkbrenning.

---

[1] Norsk Historisk Tidsskrift *4*, s. 256, 1877.

[2] Über die Geologie des südlichen Norwegens. Nyt. Mag. for Naturvidensk. *9*, s. 239—40, 1857.

[3] Jordbunden på Hedmark. Hedmarks Historie *1*, s. 52—53, fig. 5.

Vi har sett av ovenstående at det har vært satt opp milesteiner av silurkalk etter veiene gjennom Valdres og Gudbrandsdalen, som i gammel tid var hovedferdselsveiene i Sør-Norge. Om steinene i Valdres opplyser Yngvar Nielsen at de ble satt opp på Kristian 5's tid, da det etter innførelsen av eneveldet for første gang ble en egen administrasjon for veivesenet i Norge. Sannsynligvis var vel også milesteinene i Gudbrandsdalen fra samme tid, Kjerulfs opplysning om at de var fra Kristian 7's tid er annen hånds og kan være feilaktig.

Etter Kiær Das Obersilur finnes det silurlag av etasje 9 (Ludlow) på Ringerike, i Asker—Bærum-området, i Drammen—Sande-området, på øyene ved Holmestrand og i Skien—Porsgrunn-området. I alle disse strøk uten på Ringerike og på Langøya ved Holmestrand er imidlertid Ludlowlagene kontaktmetamorfosert, mens kalken i milesteinene, så vidt det har kunnet kontrolleres, er helt uomvandlet med utmerket bevarte fossiler. Antakelig er milesteinene blitt brutt på Langøya, hvor Ludlowlagene er meget kalkrike, mens de tilsvarende lag på Ringerike har lite av faste sammenhengende kalklag.

Trygve Strand.

NYTT GEOLOGISK LEGAT

I dette året har den geologiske forsking i Norge fått et nytt legat. Grosserer, cand. jur. Halvdan Bjørums legat, med kapital 50 000 kroner.

Halvdan Bjørum er født 19 februar 1865 i Drammen og tok juridisk embetseksamen i 1889. I 1894 begynte han sin egen forretning, som hovedsakelig har omfattet utvinning og salg av mineral, særlig feldspat og kvarts, i de senere år også foredling av andre mineraler og malmer.

Han døde i november 1937.

STATUTTER
for
GROSSERER, CAND. JUR. HALVDAN BJØRUMS LEGAT
AV 12 NOVEMBER 1935.

Stadfestet av Sosialdepartementet
5 oktober 1939.

§ 1.

Ved gavebrev av 12 november 1935 opprettet grosserer, cand. jur. Halvdan Bjørum et legat til geologisk og mineralogisk vitenskapelig forsking, fortrinsvis således at den kan fremme Norges næringsliv, med grunnfond 50 000 kr. Til grunnfondet blir lagt rentene til legatet trer i kraft. Siden skal renter legges opp som fastsatt for andre legater ved Universitetet (for tiden $^1/_{10}$).

§ 2.

Legatet skal forvaltes av Universitetets kvestor på samme måte og under samme kontroll som det er bestemt for de andre legatmidler ved Universitetet.

§ 3.

Av rentene utdeles stipendier etter legatets formål. Stipendiene kunngjøres sammen med de andre vitenskapelige stipendier ved Universitetet og utdeles av Det akademiske kollegium.

§ 4.

Til å gi innstilling om utdeling av stipendier oppnevnes en komité på 3 medlemmer. Blant dem bør direktøren for Norges geologiske undersøkelse være, og en av Universitetets professorer i geologi eller mineralogi, valt av Det akademiske kollegium; som tredje medlem skal sitte testators sønn, disponent Haakon J. Bjørum, så lenge han lever. Etter hans død — eller om han ikke ønsker å være medlem lenger — skal Det akademiske kollegium oppnevne et tredje medlem. — Kollegiet velger også et medlem i stedet for direktøren for Norges geologiske undersøkelse, dersom han ikke er villig til å være medlem av komitéen. Dessuten velger kollegiet én varamann for alle tre medlemmer.

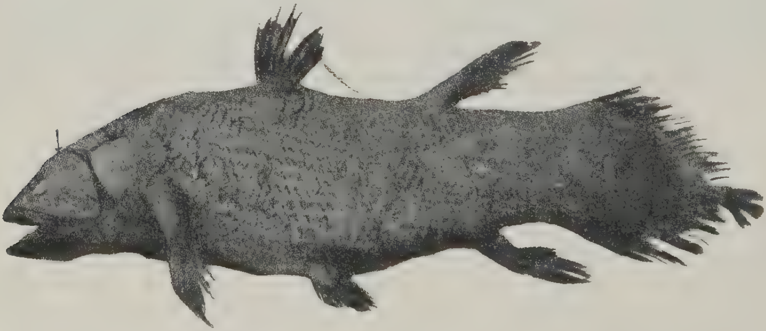
NORSK GEOLOGISK FORENING

MØTE TORSDAG 23. MARS 1939

Tilstede 24 medlemmer og 13 gjester.

K. O. Bjørlykke: *Bergmester Thomas Georg Münster. Minnetale.* Trykt i dette bind av tidsskriftet p. 297.

A. Heintz: *En levende kvastfinnet fisk.*



Latimeria chalumnae. (Fra „Naturen“ 63, 1939, p. 158.)

I desember 1938 blev det ved Afrikas kyst, ikke langt fra en liten by „East London“ fanget en merkelig fisk i en trawl på ca. 40 favners dyp. Den var ca. 1½ m lang og veiet omtrent 50 kg. Ved nærmere undersøkelse kunde man konstatere at fisken tilhørte de såkalte kvastfinnede (Crossopterygii), som hittil utelukkende var kjent som fossiler. Man regnet at de siste representanter for Crossopterygii døde ut i slutten av mesozoikum for ca. 60 millioner år siden.

Den nye form, som blev kalt *Latimeria chalumnae*, er nærmest beslektet med den yngste gren av Crossopterygii, de såkalte Coelachantidae, som er særlig godt kjent fra de yngre paleozoiske og mesozoiske avleiringer.

På grunn av en rekke uheldige omstendigheter, er det praktisk talt bare skjellklædning, finner og de ytre knokler av kraniet som er bevart. Alle de indre organer og skjelett som hovedsakelig bestod av brusk, råtnet bort.

Foreløpig foreligger det bare midlertidige meddelelser om funnet og ganske korte beskrivelser av selve fisken. Det er utvilsomt at tross den dårlige opbevaring er *Latimeria* av overmåte stor vitenskapelig betydning, og man må med spenning imøtese en mere inngående beskrivelse av den. Vi står nemlig her overfor et ganske enestående funn. Crossoperygiernes nærmeste nulevende slektninger er lungefisk, som allerede i devontiden (for ca. 300 millioner år siden) skilte sig ut fra dem. I virkeligheten kjenner vi altså svært lite til den finere bygning av disse former, særlig utviklingen av deres forskjellige indre organsystemer. Crossopterygii er også av særlig stor interesse, da alle landdyr utvilsomt engang i devontiden har spaltet sig ut fra dem.

V. M. GOLDSCHMIDT: *Spektralanalysens bruk i mineralogi, geokjemi og metallurgi.*

Trykt i Tidsskrift for kjemi og bergvesen 19, 1939, p. 82—86.

Etter foredraget kom det uttalelser fra J. Helverschou, S. Foslie og foredragsholderen.

MØTE TORSDAG 27. APRIL 1939

Tilstede 19 medlemmer og 4 gjester.

De to tidligere medlemmer nr. 62, bergingeniør J. Braastad, A/S Gurholt & Co., Karl Johans gate 41 (innvalt 1913, utmeldt 1930) og nr. 122, bergingeniør A. Gurholt, A/S Gurholt & Co., Karl Johans gate 41 (innvalt 1918, utmeldt 1926) vil etter styrets forslag og foreningens godkjenning fra nå av atter stå som medlemmer.

T. STRAND: *Kort meddelelse om kambro-siluren i kartområdet Kongsberg.*

Foredraget vil bli trykt i kartbeskrivelse i N. g. u.s skrifter.

A. HEINTZ: *Bemerkninger om tektonikk og stratigrafi i kambro-silurstrøkene i Hedenstad.*

Foredraget vil bli trykt i en avhandling i tidsskriftet.

I diskusjonene etter foredragene deltok Helverschou, Størmer, Holtedahl, Rosendahl, Foslie, Isachsen og Strand.

MØTE TORSDAG 11. MAI 1939

Møtet var arransjert som fellesmøte sammen med N. i. f. Bergingeniørenes avdeling.

Tilstede 23 medlemmer av N. g. f. og 13 medlemmer av Bergingeniørforeningen og gjester.

VOLKER FRITSCH, Brünn: *Funkgeologie.*

Die Funkgeologie ist eine Grenzwissenschaft, die die Ausbreitung von Strömen und Hertz'schen Feldern in geologischen Leitern studiert. Weiters untersucht sie die Veränderungen, die diese Leiter unter dem Ein-

fluß des sie durchsetzenden Stromes oder Feldes erleiden. Ein wichtiges Teilgebiet ist die Lehre von der Funkmutung. Diese versucht aus funkphysikalischen Messungen die Lage, Ausdehnung und Beschaffenheit von nützlichen Lagerstätten, Verwerfern usw. nachzuweisen. Obwohl die ersten Untersuchungen dieser Art schon Jahrzehnte zurückliegen, wird erst in den letzten zehn Jahren das Gebiet systematisch bearbeitet. Die Untersuchungen haben dort, wo die Voraussetzungen ausreichend geklärt sind, auch praktischen Wert erlangt, indem z. B. Höhlen, Erzgänge und Wasservorkommen nachgewiesen werden konnten. Neuerdings versucht man auch die geopathogenen Phänomene in funkgeologischer Weise zu deuten. Die Forschung ist derzeit vor allem bestrebt die elektrischen Eigenschaften des geologischen als Funktionen der zahlreichen verändernden Faktoren darzustellen und die Ausbreitung Hertz'scher Felder im Innern der Gebirge zu studieren. Versuche zeigten, daß Hertz'sche Felder unter Umständen mehrere hundert Meter tief in ein Gebirge eindringen können. Es werden auch die Möglichkeiten untersucht, funkgeologisch jene Schichten zu bestimmen, die unter dem tiefsten Grundwasserspiegel liegen und nahezu nicht leitend sind. Auf diese Weise soll versucht werden das Erdinnere in größeren Teufen ähnlich zu untersuchen, wie heute die Jonosphäre untersucht wurde.

Der wichtigste Inhalt des Vortrages erschien in der Tidsskrift for kjemi og bergvesen 19, 1939, p. 95—104.

Auch die Äußerungen von Hofseth sind ebenda gedruckt.

I diskusjonen etter foredraget deltok Helverschou, Carstens, Bj. Hofseth, Foslie og foredragsholderen.

C. W. Carstens: *Om titanholdige jernmalmer.*

Kurzes Resumée des Vortrages:

Zur chemisch-mineralogischen Zusammensetzung der titanhaltigen Eisenerzvorkommen.

Die sogenannten titanhaltigen Eisenerzvorkommen vertreten einen deutlich markierten Typus der Eisenerzvorkommen. Der Typus ist schon mehrmals von Norwegen, Schweden, Ural, U. S. A. usw. beschrieben worden — er fehlt aber fast völlig in Mittel-Europa.

Von Erzmineralien treten immer Magnetit und Ilmenit auf, von Silikatmineralien gewöhnlich Pyroxen, Hornblende, Olivin und Feldspat. Spinell und Magnetkies, zum Teil auch Schwefelkies, kommen meistens untergeordnet vor.

Da das quantitative Mineralverhältnis der verschiedenen Vorkommen stark variiert, wechselt auch die chemische Zusammensetzung ganz bedeutend innerhalb gewisser Grenzen. Ein in chemischer Beziehung charakteristischer Zug ist, daß der Magnetit dieses Erztypus immer kleinere Mengen des wertvollen Elements Vanadium enthält.

Die chemische Zusammensetzung des Roherzes einiger der größten titanhaltigen Eisenerzvorkommen Norwegens geht aus folgender Tabelle hervor:

	Fe	TiO_2	V
Selvåg	27	4	0,17
Alta	27	7	0,22
Rødsand	35	7	0,30
Solnørdal	43	13	0,30

Die Tabelle zeigt, daß das Roherz dieser Vorkommen nicht ohne weiteres den Schmelzöfen zugesetzt werden darf — der Fe-gehalt ist zu klein, der TiO_2-gehalt ist zu groß. Man wird deshalb genötigt — bevor das Erz benutzt werden kann — eine Zermahlung in Verbindung mit einem nachfolgenden Anreicherungsprozeß des in Betracht kommenden Erzminerals, in casu des Magnetits, vorzunehmen.

Bei mechanischen Separationsprozessen im Laboratorium der A/S Christiania Spigerverk in Oslo ist es gelungen Konzentrate der eben erwähnten Roherze von der untenstehenden Zusammensetzung herzustellen:

	Fe	TiO_2	V
Selvåg	61	5	0,35
Alta	54,5	10,5	0,48
Rødsand	62	2,2	0,50
Solnørdal	66	2,5	0,50

Es geht aus dieser Tabelle hervor, daß in der Praxis 2 verschiedene Typen titanhaltiger Eisenerze vorkommen:

1. Ein Typus, in dem der TiO_2-gehalt des Konzentrats — nach magnetischer Separation — im Verhältnis zum TiO_2-gehalt des Roherzes vergrößert wird, hier durch Selvåg und Alta repräsentiert.
2. Ein zweiter Typus, in dem der TiO_2-gehalt des Konzentrats — nach magnetischer Separation — im Verhältnis zum TiO_2-gehalt des Roherzes verkleinert wird, hier durch Rødsand und Solnørdal repräsentiert.

Als ein dritter Typus (3) kann der Typus, der den zwischenliegenden Fall vertritt, in dem der TiO_2-gehalt des Konzentrats gleich dem TiO_2-gehalt des Roherzes bleibt, angeführt werden.

Bei dem magnetischen Separationsprozeß benehmen sich also die titanhaltigen Eisenerze ganz verschieden — ein Umstand, der von großer praktischer Bedeutung ist. Dieser Unterschied ist von der Struktur der betreffenden Erzmineralien bedingt.

Der Ilmenit tritt nämlich teils in Lamellen etwa der Größenordnung 5 bis 10 μ, parallel zur Oktaederfläche des Magnetits eingelagert, auf. Und teils tritt er in selbständigen Individuen, die von der Größenordnung der Magnetitindividuen, etwa 3 bis 5 mm, sind, auf.

Beim Zernmahlen zum gewöhnlichen technischen Zehrmahlungsgrad, 70 bis 200 mesh, erhält man im letzterwähnten Fall Freikörner von den beiden Erzmineralien, Magnetit und Ilmenit, im ersterwähnten Fall dagegen nicht. Die unmittelbare Folge davon ist, daß in dem Erztypus, in dem der Ilmenit hauptsächlich lamellenartig in Magnetit eingelagert auftritt, der Ilmenit — nach magnetischer Separation — etwa proportional dem

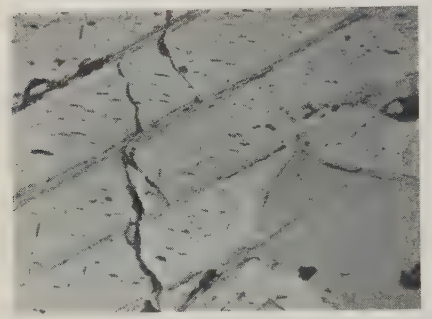


Fig. 1. Magnetit mit Ilmenitlamellen. Rechts unten ein größeres Korn von Ilmenit. × 250.

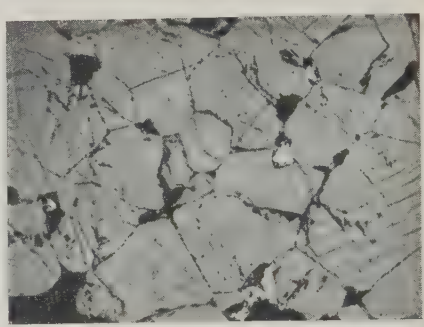


Fig. 2. Magnetit (etwas trüb) und Ilmenit (ganz klar) von etwa gleicher Korngröße. × 20. Expon. 15 Min. durch grünes Filter.

Magnetit angereichert wird, während gleichzeitig das Magnetitkonzentrat von Silikatmineralien freigemacht wird. Das Resultat in chemischer Beziehung ist, daß der TiO_2-gehalt des Konzentrats im Verhältnis zum TiO_2-gehalt des Roherzes steigt.

In dem anderen Erztypus, in dem der Ilmenit zum wesentlichsten Teil in selbständigen Individuen etwa derselben Größenordnung der Magnetitindividuen auftritt, wird das Magnetitkonzentrat — nach magnetischer Separation — von Ilmenitkörnern fast völlig gereinigt. Der Ilmenit, als ein schwach magnetisches Mineral, begleitet in diesem Fall die Silikatmineralien. Das Resultat in chemischer Beziehung ist ein Magnetitkonzentrat mit einem ganz minimalen TiO_2-gehalt, d. h. der TiO_2-gehalt des Konzentrats im Verhältnis zum TiO_2-gehalt des Roherzes ist gesunken.

Viele titanhaltigen Eisenerze haben den Ilmenit gleichzeitig lamellenartig in Magnetit und als selbständige Individuen entwickelt. In diesem Fall hängt es vom Mengenverhältnis der beiden Strukturtypen ab, ob der TiO_2-gehalt des Konzentrats steigt oder sinkt. Bei einem bestimmten Mengenverhältnis wird natürlich der Fall eintreffen können, daß der TiO_2-gehalt des Konzentrats dem TiO_2-gehalt des Roherzes gleich bleibt.

Das Erzmineral im 1. Erztypus — Magnetit mit eingelagerten Ilmenitlamellen — ist, aller Wahrscheinlichkeit nach, meistens durch Entmischungsprozesse eines homogenen titanhaltigen Magnetits entstanden. Dieser titanhaltige Magnetit entspricht dem „Titanomagnetit“ von Lacroix (1901) und wird jetzt gewöhnlich als Mischkrystall von Magnetit und Ilmenit aufgefaßt.

Wird der Magnetit mit den eingelagerten Ilmenitlamellen bis auf 1100°—1200° erhitzt, verschwinden — nach mehreren Forschern — die Ilmenitlamellen, und der Magnetit erhält ein ganz homogenes Aussehen, d. h. ein „Titanomagnetit“ ist wieder gebildet worden.

Das Vanadium der titanhaltigen Eisenerze steckt — zufolge einer Reihe verschiedener Untersuchungen — mit Sicherheit im Magnetit, aller Wahrscheinlichkeit nach als ein dreiwertiges Element das dreiwertige Eisen ersetzend, da diese beiden Elemente etwa denselben Ionenradius besitzen. Es existiert somit zwischen dem ordinären Magnetit und dem vanadiumreichen Endglied, dem sogenannten Vanadiumspinell, der 1931 von Mathewson, Spire und Samans synthetisch hergestellt wurde, eine kontinuierliche isomorphe Reihe. Bei dem Vanadiumspinell beträgt die Seitenlänge im Elementarkubus a = 8,468 Å. Bei dem ordinären Magnetit beträgt dieselbe Seitenlänge a = 8,37 Å.

Der Vanadiumgehalt der verschiedenen Vorkommen ist aber ziemlich verschieden. Innerhalb eines bestimmten Vorkommens ist jedoch der Vanadiumgehalt des Magnetits verhältnismäßig konstant. Das Verhältnis

$$\frac{100\ \text{V}}{\text{Fe in Magnetit}}$$

ist somit für jedes Vorkommen eine charakteristische Größe. Diese Größe habe ich den Vanadiummodul genannt. Er liegt bei den meisten norwegischen Vorkommen etwa um 1 herum, gewöhnlich ein wenig unterhalb, nur ausnahmsweise oberhalb. Der höchste Wert, den man in Norwegen bis jetzt gefunden hat, beträgt etwa 1,25.

Der Vanadiummodul der früher erwähnten norwegischen Vorkommen geht aus der untenstehenden Tabelle hervor:

	Vanadiummodul
Selvåg	0,61
Alta	1,01
Rødsand	0,84
Solnørdal	0,78

Von einer ganz anderen Größenordnung ist indessen der Vanadiummodul der titanhaltigen Eisenerze Indiens. Zufolge Analysen einer Abhandlung des indischen Geologen Dunn liegt der Vanadiummodul mehrerer indischer Vorkommen oberhalb 3, zum Teil weit oberhalb.

Das vanadiumhaltige Konzentrat von Rødsand, dem einzigen norwegischen titanhaltigen Eisenerzvorkommen, das jetzt in Betrieb ist, wird zuerst gesintert und dann dem elektrischen Ofen zugesetzt. Der Vanadiumgehalt geht in das Roheisen über, es enthält durchschnittlich etwa 0,70 % V. Der Titansäuregehalt geht in die Schlacke über — dadurch bildet sich Perowskit, $CaTiO_3$. Das vanadiumhaltige Roheisen wird nachher einem Frischungsprozeß im Bessemerkonverter unterworfen. Durch diesen Prozeß bildet sich an der Oberfläche des Bades eine halbflüssige Schlacke, die — je nachdem der Oxydationsprozeß fortschreitet — mehrere Male (meistens 3) abgezogen wird. Diese Schlacke enthält durchschnittlich 10 bis 12 % V und zwar als ein vanadiumreiches Spinellmineral. Nach den röntgenographischen Untersuchungen beträgt die Seitenlänge des Elementarkubus dieses Minerals a = 8,448 Å. Durch verschiedene Lösungsversuche ist es auch gelungen, die chemische Zusammensetzung des Spinellminerals zu bestimmen (Kr. Kristoffersen). Zufolge dieser Versuche geht hervor, daß das Spinellmineral als Mischkrystall folgender Molekyle aufgebaut ist:

1. Spinellmolekyl, MR_2O_4, hauptsächlich aus FeV_2O_4 bestehend.
2. Ilmenitmolekyl, $MTiO_3$, hauptsächlich aus $FeTiO_3$ bestehend.
3. Sesquioxydmolekyl, R_2O_3.

Der Gehalt an 3 ist meistens ziemlich klein, zum Teil gleich 0.

Wir haben somit hier einen wirklichen „Titanomagnetit“ im Sinne von Lacroix entwickelt, allerdings mit dem Unterschied, daß das dreiwertige Eisenion des Magnetits zum Teil mit dem etwa gleich großen drei-wertigen Vanadiumion ersetzt worden ist. Von lagerstättengeologischem Gesichtspunkt ist aber von besonderem Interesse, daß das Vanadium der vanadiumhaltigen Schlacke etwa in der selben Weise wie in den titanhaltigen Eisenerzen auftritt.

Neben dem Spinellmineral enthält die vanadiumhaltige Schlacke Cristobalit und Fayalit, zum Teil auch Spuren von einem pyroxenähnlichen Mineral und Glas.

Der Mineralbestand der Schlacke beträgt meistens:

40—60 %	Spinellmineral,
20—40 %	Cristobalit,
10—20 %	Fayalit.

Die titanhaltigen Eisenerzvorkommen zeigen in chemischer Beziehung auch einen anderen charakteristischen Zug, nämlich meistens einen äußerst kleinen Phosphorgehalt, der gewöhnlich von der Größenordnung 0,00x % ist. Von Norwegen sind nur 2 Ausnahmen dieser Regel bekannt: Das Vorkommen von Spisholt an der Eisenbahnstation Krekling und das Vorkommen von Jøsenfjord in Boknfjord bei Stavanger, die alle beide einen beträchtlichen P-gehalt führen. Der V-gehalt dieser Vorkommen ist gleichzeitig verhältnismäßig klein.

I diskusjonen etter foredraget deltok Rosenlund, Goldschmidt, Foslie, C. Bugge og foredragsholderen.

MØTE MANDAG 13. NOVEMBER 1939

Tilstede 21 medlemmer og 11 gjester.

C. BUGGE holdt minnetale over statsgeolog ALVAR HÖGBOM.

I slutten av august kom det meddelelse fra Sverige at statsgeolog Alvar Högbom døde 23. august. Han blev syk mens han arbeidet med malmgeologiske undersøkelser i Remdalen og døde i Östersunds sykehus.

Vi her i Norge minnes den foredragsreise han gjorde hit til Oslo våren 1938 og hvorunder han gav oss i Norsk geologisk forening en glimrende fremstilling av sitt og andre svenske geologers arbeid i Skelleftefeltet med tilgrensende deler av Västerbottens og Norrbottens län. En fremstilling av sine resultater herom hadde han utgitt i sitt kjente arbeid av 1937.

I Geol. fören. förhandlingar januar—februar 1939 skrev Högbom minneord om Karl Sundberg og fortalte her mange interessante ting om

det store prospekteringsarbeid i Nord-Sverige, som gav så store resultater at det er grunnlagt en stor ny bergslag for utnyttelsen av alle de nyoppdagede malmforekomster. Da vi leste Högboms ord her, at nu er to av hovedpersonene i dette arbeid, geologen Olof Bäckström og geofysikeren Karl Sundberg borte, ante ingen at så kort tid etter må vi også føye hans eget navn til de bortgåtte pionerer.

Av Högboms øvrige arbeider skal jeg nevne hans doktorarbeid som omhandlet de geologiske forhold innom Stekenjokk—Remdalens malmtrakt, 1924. Han blev doktor i Uppsala 1925. Videre nevnes hans beskrivelser til kartbladet Väse, Mariestad, Malingbo og Lungnås. Da han i 1938 førte de nordiske geologer omkring i Skelleftefeltet, viste han fram det første trykk av sitt store, nye, geologiske kart over Västerbottens län. Beskrivelsen hertil nådde han ikke å fullføre.

Hans store innsats var det geologiske undersøkelses- og prospekteringsarbeid i Övre Norrland, et arbeid som strakte seg over mer enn 20 år.

Alvar Högbom ble født i 1894 og ble således kun 45 år gammel. Han ble ansatt ved Sveriges geologiske undersökning i 1919 og ble statsgeolog i 1933.

Hans mange venner i Norge vil bevare hans minne.

H. A. Brouwer, Amsterdam: *Bau und Entwicklung der Inselguirlanden in Südost Asien.*

Der Knotenpunkt der Randbogen vom südöstlichen Asien und von Australien liegt im malayischen Archipel. Das Wachsen der beiden genannten Kontinente ist durch den zonalen Anbau von jüngeren Faltungszonen an ältere Kerne zu Stande gekommen und die jungeren Stadien dieses Anbaus sind im malayischen Archipel bis in die Jetztzeit zu beobachten. Granodioritische Intrusionen begleiten die Faltungszonen. Intrusionen des jüngeren Mesozoikums kommen in den inneren Teilen des Anbaus vor. Die jüngsten Intrusionen von jung-miozänem Alter bilden eine äußere Zone im westlichen Sumatra, in Java und in den kleinen Sunda Inseln wo sie östlich bis zu der Insel Wetar bekannt geworden sind. Der östliche Teil dieser Zone liegt schon in der Nähe von Australien. Zwischen dieser jungen Faltungszone und Australien liegt eine Inselreihe in der auf der Insel Timor mesozoische und alt-tertiäre Faltungsphasen schon vor dem jung-Tertiär eine durch große Überschiebungen gekennzeichnete Struktur zu Stande gebracht haben, die als ein älterer Anbau an Australien betrachtet werden kann. Ein breiter Saum zwischen dieser südlichen Inselreihe und dem jetzigen australischen Kontinent — wo kaum jüngerer als paläozoischer Faltenanbau im großen ganzen nach Osten beobachtet wird — ist durch Meeresbedeckung der Beobachtung entzogen.

Die jüngsten Bewegungszonen begrenzen die schon erstarrten asiatischen Gebiete als eine äußere Zone gegen den Indischen Ozean und liegen zwischen den erstarrten australischen und asiatischen Gebieten im östlichen Teil des Archipels. Ältere Faltungszonen werden zum Teil räumlich von der jüngsten überdeckt und ältere Zusammenhänge sind

zum Teil wieder unterbrochen worden. Ein Wirbel von Großfalten, die aus den begleitenden Tiefseerinnen als sehr hohe „Gebirge“ emporragen, deutet auf scherende Bewegungen zwischen Asien und Australien. Die Richtung der Strukturen, die durch die sich bis in die Jetztzeit sehr kräftig fortsetzende Bewegung entstanden sind (Richtung der Inselreihen) weicht öfters von der Richtung der älteren Faltungsachsen ab, was mit einem ändernden Einfluß der Widerstände und mit wechselnden Bewegungsmöglichkeiten in Zusammenhang gebracht werden kann.

Wie die paläozoischen Faltungen zur Vereinigung von Europa und Asien zu Meso-Eurasien und die mesozoischen und tertiären Faltungen zur Aufnahme von Vorderindien in Neo-Eurasien geführt haben, so zeigt das Bild der tektonischen Entwicklung der Inselguirlanden die Tendenz zu einer Vereinigung von Asien und Australien, die aber nicht zu Stande gekommen ist. Das Inselreich zeigt bis jetzt noch eine gewisse Freiheit in der Entwicklung oder eine starke Ablenkung der Falten und ist wohl deshalb ein Inselreich. Obwohl die Bewegungen sehr kräftig sind so hat der Zwang, der in benachbarten Gebieten schon längst zu der Bildung kontinentaler Gebirgszüge geführt hat, hier ein ähnliches Resultat nicht erreicht. Die höchsten Erhebungen liegen nördlich von Australien im Hochgebirge von Neu-Guinea, wo bis zu den höchsten Gipfeln jungtertiäre Sedimente mit Intrusionen von granodioritischen und verwandten Gesteinen bekannt geworden sind.

In diesem Entwicklungsbild fügen sich auch andere Erscheinungen harmonisch ein. Schon 1917 habe ich auf einen Zusammenhang zwischen der Entwicklung der Gebirgsbildung und die der vulkanischen Tätigkeit hingewiesen. Beide deuten in den östlichen kleinen Sunda Inseln auf den Einfluß der erstarrten australischen Masse. Von den emporsteigenden Inselreihen hat sich die südliche dem australischen Widerstande mehr oder weniger angepaßt und der Vulkanismus hat sich vom Widerstande zurückgezogen. In der nördlichen Inselreihe mit ihrer noch wenig gestörten Bogenform sind die Beweise einer intensiven vulkanischen Tätigkeit über dem Meeresspiegel gehoben. Die Tätigkeit dauert bis in die Jetztzeit fort aber wir können beobachten, wie sie allmählich auslöscht, erst in den Teilen die der südlichen Inselreihe und Australien am meisten genähert sind. Der submarine Vulkanismus weiter nördlich kann ein jugendliches Stadium in voller Entwicklung vorstellen, das noch nicht vom tötenden australischen Einfluß berührt wird. Die australische Masse, die erst die vulkanische Tätigkeit mit ins Leben gebracht hat, löscht jetzt seine eigenen Schöpfungen allmählich wieder aus.

Auch das Bild der Brüche und Verwerfungen kann harmonisch in der oben skizzierten Entwicklungsgechichte eingefügt werden. Sie sind die Folge von wechselnden horizontalen bis vertikalen Bewegungen, die die Faltungen in den mehr oberflächlichen Teilen der Kruste begleiten. Die kräftigen jungen Bewegungen werden durch die weit über 1000 meter gehobenen Korallenriffe und durch gehobene Fastebenen veranschaulicht. Isolierte Felsen, die deutliche Wassererosion zeigen, wurden auf hochliegende Terrassen angetroffen und steile trockene Täler bilden manchmal Pässe in einem Gebirgszug.

In 1925 wurde von mir in The Geology of the Netherlands East Indies eine tektonische Übersicht gegeben. Seitdem ist der australische Einfluß auf die Entwicklung des malayischen Archipels öfters diskutiert und auch mehr oder weniger abgelehnt worden. Vielfach sind neue bathymetrische Resultate (Snellius Expedition) und Schwerkraftmessungen (Vening Meinesz) bei Deutungsversuchen der tektonischen Verhältnisse ausgiebig benutzt worden um frühere Deutungen zu erweitern oder zu ändern (Vening Meinesz, Kuenen, Umbgrove). Es scheint nötig zu bemerken daß die bekannten Tatsachen über Schwereanomalien und Morphologie des Meeresbodens Auskunft über den jetzigen Zustand geben und einige Schlüsse über die jüngste Evolution können daraus abgeleitet werden, aber sie geben — im Gegensatz zu geologischen Tatsachen — keinen Aufschluß über frühere Phasen der Entwicklung. Soweit die bis jetzt bekannten Schwereanomalien nicht harmonisch in das geologische Gesamtbild eingefügt werden konnten, wie es nach der ersten Deutung von Vening Meinesz schien, hat sich schon nach einigen Jahren der Zusammenhang ihrer Verteilung mit der Morphologie der Erdkruste gezeigt und es ist möglich, daß bei Zunahme unserer Kenntnisse über Schwerkraftverteilung ihre Anpassung an den geologischen Bau vollständiger hervortreten wird.

I ordskiftet etter foredraget deltok Helverschou, Holtedahl, Werenskiold, A. Bugge og foredragsholderen.

F. ISACHSEN, O. A. BROCH og T. STRAND: *Bidrag til Skudesnessedimentenes geologi.*

Korte meddelelser som vil bli offentliggjort i N. g. u.'s skrifter.

MØTE TORSDAG 23. NOVEMBER 1939

Møtet var arransjert som fellesmøte sammen med Norsk botanisk forening. Tilstede omkring 90 personer, hvorav 14 medlemmer av N. g. f.

KNUT FÆGRI: *Trekk av den senkvartære utvikling på Jæren.*

Foredraget omhandlet undersøkelser som vil bli offentliggjort i Bergens museums årbok.

I ordskiftet etter foredraget deltok Asbjørn Ording, Ove Arbo Høeg og foredragsholderen.

OVE ARBO HØEG: *Fra en Spitsbergenekspedisjon i 1939.*

En beretning om ekspedisjonen vil bli trykt senere.

MEDLEMSLISTE

31. desember 1939.

*: livsvarig medlem.
Tallet i parentes er innvalgsåret.
(S): stifter (18. februar 1905).

Æresmedlem:

Brøgger, W. C., professor. Bekkelaget pr. Oslo. (S).

Ahlmann, Hans W:son, professor. Stockholms högskola. (1919).
*Andersen, Olaf, dr.. U. S. steel corporation, Lincoln Highway, Kearney, New Jersey, U. S. A. (1911).
Asklund, Bror, statsgeolog. Sveriges geologiska undersökning, Stockholm 50. (1938).
*Bache, Laura, lektor. Ullevålsvegen 105, Oslo. (1931).
*Backlund, Helge, professor. Universitetet, Uppsala. (1918).
*Balk, Robert, professor. Department of geology, Mount Holyoke College, South Hadley, Massachusetts, U. S. A. (1933).
*Barth, Tom., professor. Mineralogisk institutt, Blindern pr. Oslo. (1921).
Bergersen, Birger, professor. Tannlækehøgskolen, Oslo. (1921).
*Bjørlykke, Harald, dosent. Norges tekniske høgskole, Trondheim. (1923).
*Bjørlykke, K. O., professor. Norges landbrukshøgskole, Ås. (S).
Blekum, Sverre, bergingeniør. Knaben molybdengruber pr. Flekkefjord. (1918).
Braastad, Johan, dr. ing., Karl Johansgt. 41, Oslo. (1913).
*Broch, Olaf Anton, statsgeolog. Norges geologiske undersøkelse, Oslo. (1920).
Bruun, Br., ingeniør. Mineralogisk institutt, Blindern, V. Aker. (1938).
Bugge, Arne, statsgeolog. Norges geologiske undersøkelse, Oslo. (1914).
*Bugge, Carl, direktør. Norges geologiske undersøkelse, Oslo. (S).
*Callisen, Karen, museumsinspektør. Mineralogisk og geologisk Museum, Østervoldgade 7, København K. (1917).
Carlson, Fredrik, overingeniør. Parkgatan 1, Falun, Sverige. (1919).
*Carstens, C. W., dr.. Norges tekniske høgskole, Trondheim. (1911).
*Christiansen Alex., direktør. Karl Johans gate 16, Oslo. (1914).
Dal, Adolf, lektor. Middelthuns gate 14, Oslo. (1905).
Damm, C. O. B., bergmester. Nes, Hedmark. (1905).
*Danielsen, D. A., rektor. Hornnes, Setesdal. (1905).
Dietrichson, Brynjulf, bergingeniør. Moss. (1917).
Donnay, J. D. H., professor. Faculté des sciences de l'Université Laval, Boulevard de l'entente, Québec, Kanada. (1937).
*Eckermann, Harry von, dosent. Skepparegatan 66, Stockholm. (1937).
Egeberg, F. P., ingeniør. Rådhusgata 5 B, Oslo. (1939).

*Egge, A., driftsstyrer. Glærem, Surnadal. (1930).
*Eskola, Pentti, professor. Min. inst., Universitetet, Helsingfors. (1919).
*Falck-Muus, Rolf, statsgeolog. Norges geologiske undersøkelse, Oslo. (1913).
*Falkenberg, Otto, dr. ing.. Tordenskjolds plass 3, Oslo. (1914).
*Foslie, Steinar, statsgeolog. Norges geologiske undersøkelse, Oslo. (1911).
*Fægri, Knut, dr.. Bergens museum, Bergen. (1935).
*Føyn, Sven, lektor. Kongsberg høgere almenskole, Kongsberg. (1932).
Gavelin, Axel, overdirektør. Sveriges geologiska undersökning, Stockholm 50. (1920).
Glømme, Hans, professor. Norges landbrukshøgskole, Ås. (1923).
Goldschmidt, V. M., professor. Geologisk museum, Oslo. (1906).
Graff, O. F., bergingeniør. Viksnes kopperverk pr. Haugesund. (1939).
*Grip, Erland, fil. lic.. Boliden, Sverige. (1938).
*Grønlie, O. T., rektor. Bodø. (1909).
Grönwall, K. A., professor. Lunds universitets geol.-min. institution. (1919).
Gurholt, A., bergingeniør, Karl Johansgt. 41, Oslo. (1918).
*Hawkes, Leonard, geologist. Bedford college, Regent's park, London N. W. 1. (1915).
*Heber, Gustav, advokat. Oscars gate 49, Oslo. (1938).
*Heintz, Anatol, konservator. Geologisk museum, Oslo. (1926).
*Helverschou, Julius, bergingeniør, disponent. Norsk diamantborings A/S. Dronningens gate 2, Oslo. (1918).
Henriksen, G., bergmester. Bekkelagshøgda. (1931).
Hesze, P. A. Jürgen, geolog. Intrånget, Hedemora, Sverige. (1936).
Hoel, Adolf, dosent. Svalbardkontoret, Observatoriegata 1, Oslo. (1905).
Holmboe, Jens, professor. Botanisk museum, Oslo. (1905).
*Holmsen, Andreas, bergmester. Bestun. (S).
*Holmsen, Gunnar, statsgeolog. Norges geologiske undersøkelse, Oslo. (1908).
*Holtedahl, Olaf, professor. Geologisk institutt, Blindern pr. Oslo. (1908).
*Horn, Gunnar, dr.. Svalbardkontoret, Observatoriegata 1, Oslo. (1917).
Hornemann, H. H., bergingeniør. Bestunvegen 14, Bestun. (1925).
Hvoslef, R., major. Akershus festning, Oslo. (1934).
Høeg, Ove, konservator. Trondheims museum, Trondheim. (1924).
*Isachsen, Fridtjov, dosent. Geografisk institutt, Blindern pr. Oslo. (1929).
Jensen, Einar, dr., Kemisk institut, Blindern, V. Aker. (1939).
Johne, C. T., lektor. Kragerø. (1931).
Johnson Høst, Mimi, fru. Kirkevegen 90, Oslo. (1913).
Kiil, Erling, bergingeniør. Brantenborgvegen 2, Slemdal pr. Oslo. (1922).
Kjellerød, Åge, cand. mag.. Postboks 180, Lysaker pr. Oslo. (1937).
Klüver, Emil, ingeniør. Statens toll-laboratorium, Oslo. (1926).
Kolderup, Carl Fred., professor. Bergens museum, Bergen. (1905).
*Kolderup, Niels-Henr., professor. Bergens museum, Bergen. (1919).
Kollerud, Marta, cand. mag.. Trondheimsvegen 10, Oslo. (1919).
*Koren, Wilhelm, direktør. Buhemba mines, p. o. Musoma, Tanganyika territory, East Africa. (1916).

Kvale, Anders, amanuensis. Bergens museum, Bergen. (1936).
Lange, F., lektor. Ringstabekkvegen 102. Stabekk, Bærum. (1938).
*Lenander, N. E., direktør. Nordlandsgatan 7—9, Stockholm. (1914).
*Lindley, Henry W., dr.. Berlin-Lichterfelde, Weddingen Weg 56. (1928).
Lund, Kjell, direktør. A/S Sulitjelma gruver. Fr. Nansens pl. 6, Oslo. (1938).
*Lundby, Sven Erik, stud. ing.. Tidemannsgt. 34, Trondheim. (1937).
Lunde, Gulbrand, direktør. Hermetikkindustriens laboratorium, Stavanger. (1926).
Luzanski N., cand. real.. Gabels gate 16, Oslo. (1930).
Løddesøl, Åsulv, sekretær. Det norske myrselskap. Rosenkrantzgt. 8, Oslo (1938).
*Madsen, Victor, direktør. Kastanjevej 10, København. (1906).
Magnusson, N. H., dosent. Sveriges geologiska undersökning, Stockholm 50. (1937).
Marstrander, Henning, direktør. Administration des Mines, Teheran, Iran. (1917).
*Marthinussen, Marius, lektor. Tommelstadgata 20, Kongsvinger. (1931).
Melkild, Olav, skuleinspektør. Nesttun pr. Bergen. (1915).
Meyer, S. Smith, bergingeniør. Evje, Setesdal. (1924).
Monsen, Astrid, konservator. Bergens museum, Bergen. (1935).
Mortensen, Odd, cand. real.. A/S Jacob Kjøde, Paradis pr. Bergen. (1938).
*Natrud, Torfinn, bergingeniør. Orkla metal-A/S, Thamshamn. (1913).
*Noe-Nygaard, Arne, mag. scient.. Maagevej 10, København S. (1934).
Normann, J., direktør. Bygdøy allé 1. Oslo. (1938).
Nummedal, A. J., konservator. Universitetets oldsaksamling, Oslo. (1912).
*Nørregaard, E. M., cand. mag.. Mineralogisk og geologisk Museum, Østervoldgade 7, København K. (1917).
*Oftedal, Ivar, konservator. Geologisk museum, Oslo. (1918).
*Orvin, A. K., bergingeniør. Håkon den godes veg 21, Vindern pr. Oslo. (1913).
Ottesen, P. O., lensmann. Manger pr. Bergen. (1915).
*Oxaal, John, direktør. Electr. furnace prod. co., Sauda, Ryfylke. (1909).
Peacock, M. A., professor. Geological department, University, Toronto, Kanada. (1938).
*Petterson, Adam, bergingeniør. Lysaker pr. Oslo. (1918).
*Popoff, Boris, professor. Universität, Kronvald bulv. 4, Riga. (1918).
Post, Lennart von, professor. Stockholms högskola, Stockholm. (1916).
Quale, Andr., direktør. A/S Sulitjelma gruver, Sulitjelma. (1939).
*Quensel, Percy, professor. Stockholms högskola, Stockholm. (1916).
*Rosendahl, Halvor, konservator. Geologisk museum, Oslo. (1918).
*Rosenlund, A. L., jernbanegeolog. Gardevegen 2, V. Aker pr. Oslo. (1912).
Rønning, O., ingeniør. Bygdøy allé 1. Oslo. (1938).
Samuelsen, Andreas, lektor. Landåsvegen 8 c, Bergen. (1929).
*Scheumann, K. H., professor. Min. Inst. Universität Leipzig. (1928).
Schøyen, Niels, bergingeniør. Sverdrups veg 14, Trondheim. (1920).
Smith, H. H., bergingeniør. Camilla Colletts veg 6, Oslo. (1926).

Smith, S. O., direktør. Østensjø gård, Bryn, Ø. Aker. (1912).
*Sobral, José M., dr.. Avenida de los incas 3020, Buenos Aïres. (1931).
Stadheim, J. Fr., bergingeniør. Schleppegrells gate 14, Oslo. (1918).
Stenvik, Kr.. Geologisk museum, Oslo. (1936).
*Strand, Trygve, statsgeolog. Norges geologiske undersøkelse, Oslo. (1927).
*Strøm, Kaare Münster, dosent. Geologisk museum, Oslo. (1932).
Støren, R., bergingeniør. Kongsberg sølvverk, Kongsberg. (1915).
*Størmer, Leif, dr.. Geologisk museum, Oslo. (1925).
Sverdrup, Einar, direktør. Store norske Spitsbergen kulkompani, Tordenskjoldsgata 6, Oslo. (1938).
Thorkildsen, Birger, overingeniør. Evje nikkelverk pr. Kristiansand S. (1915).
*Trøften, Einar, bergingeniør. Sulitjelma. (1921).
Ulrich, Frantisek, professor. Albertov 6, Praha II. (1924).
Undås, Isak, lektor. Fløenbakken 8 b, Bergen. (1931).
Villars-Dahl, Sara Marie, fru. Bjørnvegen 7, Slemdal, V. Aker. (1933).
*Vogt, Thorolf, professor. Norges tekniske høgskole, Trondheim. (1908).
Watnelie, G. A., lektor. Sarpsborg. (1913).
Wegmann, C. E., dr.. Zur Hagar, Schaffhausen, Schweiz. (1925).
Werenskiold, Werner, professor. Geografisk institutt, Blindern pr. Oslo. (1909).
Weymarn, Paul von, kommandørkaptein. Jacob Ålls gate 57, Oslo. (1932).
Wiman, C., professor. Universitetet, Uppsala. (1923).
Zachariasen, William, professor. Ryerson physical laboratory, Chicago, Ill., U. S. A. (1929).
Ånerud, Kåre, lektor. Vahl skole, Oslo. (1931).
Åsgård, Gunnar, bergmester. Vingolfveg 29, Nordstrand pr. Oslo. (1921).

1	æresmedlem.
57	livsvarige medlemmer.
73	årsbetalende medlemmer.
131	medlemmer.

Trykt 1. februar 1940.